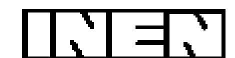




GPE INEN 22 (1978) (Spanish): Guía práctica. Laboratorista de hormigones bases para inspección y control de calidad

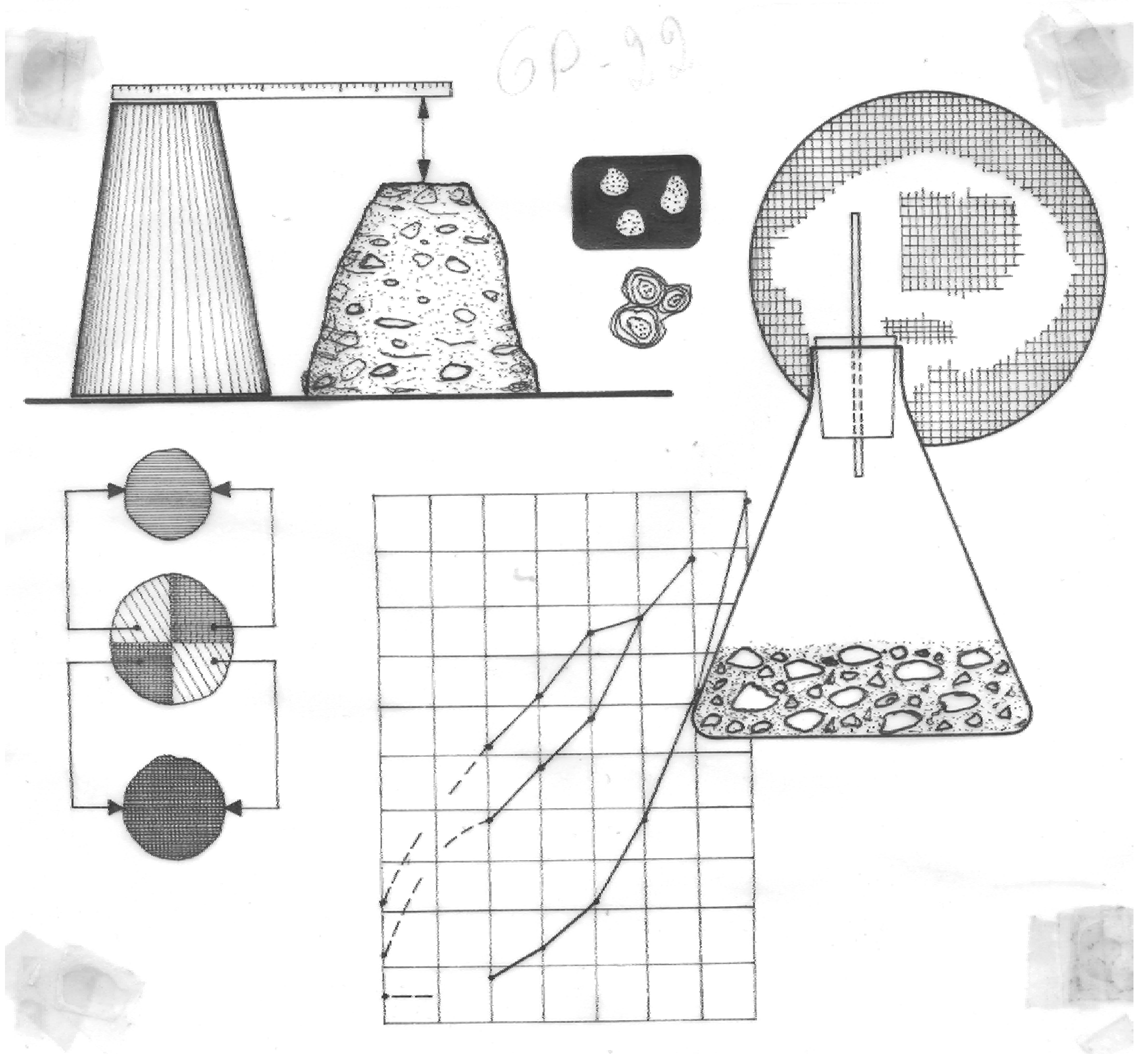
BLANK PAGE





INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

guía de práctica



LABORATORISTA DE HORMIGONES

bases para inspección y control de calidad.

Quito - Ecuador

PROLOGO

El desarrollo de este curso para Laboratorista de Hormigones es una consecuencia lógica de actividades específicas de control de la calidad del hormigón armado realizadas por el INEN.

Este curso establece los elementos necesarios para una formación básica y una formación adicional sobre aspectos de la construcción en hormigón, cuando no existen otros recursos.

Tanto la persona que desempeña la función de Laboratorista de Hormigones, encargada de tomar las muestras, realizar los ensayos e informar los resultados obtenidos, así como las personas responsables de la calidad de los agregados, necesitan tenerlos conocimientos básicos que se describen en el presente texto, que trata, principalmente, sobre la ejecución de análisis y ensayos, preparación de mezclas y evaluación de las mismas, de acuerdo a los requisitos del Código Ecuatoriano de la Construcción y las normas correspondientes.

Un curso completo debe constar de dos partes; una teórica y otra práctica, llevadas a cabo conjuntamente bajo la supervisión y dirección de un organismo con experiencia en la formación profesional, como es el SECAP (Servicio Ecuatoriano de Capacitación Profesional).

La evaluación del período de práctica se hará después de un año, durante el cual el laboratorista debe obtener gran habilidad manual en el laboratorio, bajo la dirección de un profesional calificado.

La aprobación del examen sobre estas dos partes otorga la calificación de Laboratorista de Hormigones 1, la misma que puede elevarse hasta "Laboratorista de Hormigones 2", luego de algunos años de experiencias adicionales y más complejas.

Ing. Raúl Estrada
DIRECTOR GENERAL DEL INEN

Ing. Napoleón Zabala A.
DIRECTOR EJECUTIVO DEL SECAP

Guía Práctica Ecuatoriana	GUÍA DE PRÁCTICA LABORATORISTA DE HORMIGONES. BASES PARA INSPECCIÓN Y CONTROL DE CALIDAD.	GPE INEN 022

CAPITULO 1.

CEMENTOS

1.1 Introducción.

El Cemento es un producto resultante de un proceso industrial. Durante todas sus fases se realiza un control tal que permite obtener una calidad determinada del producto final. Al concluir el proceso, la fábrica también controla la calidad del producto final, así como la de los cementos importados. Estos análisis de calidad del cemento son complicados y exigen laboratoristas especializados.

Las definiciones, requisitos y métodos de ensayo de los cementos se mencionan en las normas y proyectos de normas siguientes:

INEN 152 Cemento Portland. Requisitos.
INEN CO 02.02-403. Cemento Puzolánico. Requisitos.

Para este curso, nos limitaremos a mencionar ensayos sencillos, que son importantes para el usuario regular de los cementos. En caso de existir dudas sobre la calidad del cemento, es mejor contratar un laboratorio especializado para realizar análisis más extensos.

La Sección 1.4 se refiere a la toma de muestras, transporte o envío en general; además, el INEN tiene una publicación que trata de los conocimientos básicos sobre el cemento.

1.2 Investigación sobre la Concreción del Cemento.

Cuando el cemento se almacena durante un cierto tiempo, por ejemplo, en fundas de papel, existe la posibilidad de que sus partículas se unan formando masas; en este caso, existe la duda si este cemento todavía puede utilizarse. Generalmente, cuando estas masas de cemento pueden ser pulverizadas fácilmente entre el pulgar y el índice, este cemento aún puede ser utilizado, teniendo en cuenta que el fraguado del mismo es un poco más lento.

El hecho de que exista esta concreción en el cemento o una fina capa sobre el cemento en polvo, indica que el cemento tiene algún contacto con la humedad. Es necesario detectar el origen de esta humedad, a fin de tomar las medidas adecuadas para evitar una repetición de tal contacto.

Cuando se detecta la presencia de masas duras (fraguadas) en el cemento, éste debe desecharse para la elaboración de hormigones de primera calidad. El cemento con demasiada concreción no debe usarse de ningún modo, ni debe molerse para volver a utilizarse.

1.3 El transporte y almacenaje del cemento puede hacerse mediante:

a) *Embalaje en fundas de papel.* En la fábrica, las fundas se llenan con 50 kg (algunas veces con 100 libras) de cemento. El peso debe indicarse en forma impresa sobre la funda, y puede mezclarse el contenido de dos o más fundas, sin necesidad de pesarlo nuevamente.

b) A granel El cemento a granel se transporta en camiones especiales y barcos tanqueros. El embalaje del cemento en fundas de papel es relativamente caro, por lo cual, las grandes construcciones utilizan silos de almacenaje para cemento a granel.

El cemento en fundas debe almacenarse en un lugar seco, sobre plataformas de madera y sin contacto con las paredes. Cuando el almacenaje se realiza en silos, es posible que exista una condensación al interior del silo por efecto del enfriamiento durante la noche, lo cual puede producir una reacción del cemento con el agua. Por esta razón, se debe controlar regularmente el interior del silo. El cemento sin embalaje se transporta, a veces, con ayuda de aire comprimido. Generalmente el aire comprimido contiene mucha humedad y puede acumular agua en las tuberías, por lo cual se deben limpiar primeramente las tuberías para dejar resoplar la compresora algún tiempo antes de su conexión al tanque de cemento.

1.4 Toma de la muestra. Puede ser importante tomar una muestra de cada carga de cemento, ya que, si más tarde existen problemas con el hormigón, es posible analizar de qué carga proviene el cemento utilizado en este hormigón.

Dependiendo de la cantidad de la muestra, pueden hacerse análisis pequeños o extensos en un laboratorio especialmente equipado para estos ensayos. Para un análisis extenso, se necesita una cantidad de 10 kg, pero, para análisis regulares, es suficiente 1 kg.

Es muy importante que las muestras del cemento se guarden en recipientes herméticamente cerrados y que durante el transporte o envío al laboratorio de ensayo se mantengan en estas condiciones. Para esto, son más adecuados los envases metálicos con tapa de cierre hermético. Algunos tipos de plásticos no son resistentes al cemento. Para el envío al laboratorio se recomienda soldar las tapas, a fin de evitar que éstas sean retiradas.

En una etiqueta adherida al envase, se debe indicar el tipo, clase, nombre del cemento y la fecha de fabricación, así como la fecha de toma de la muestra y el nombre del barco o número del camión o del silo del almacenaje.

CAPITULO 2

AGREGADOS

2.1 Introducción.

El hormigón consta en su mayor parte de agregados o áridos, por lo cual, para obtener un buen hormigón, se necesitan buenos agregados.

Existe una gran diversidad de agregados naturales y de fabricación industrial.

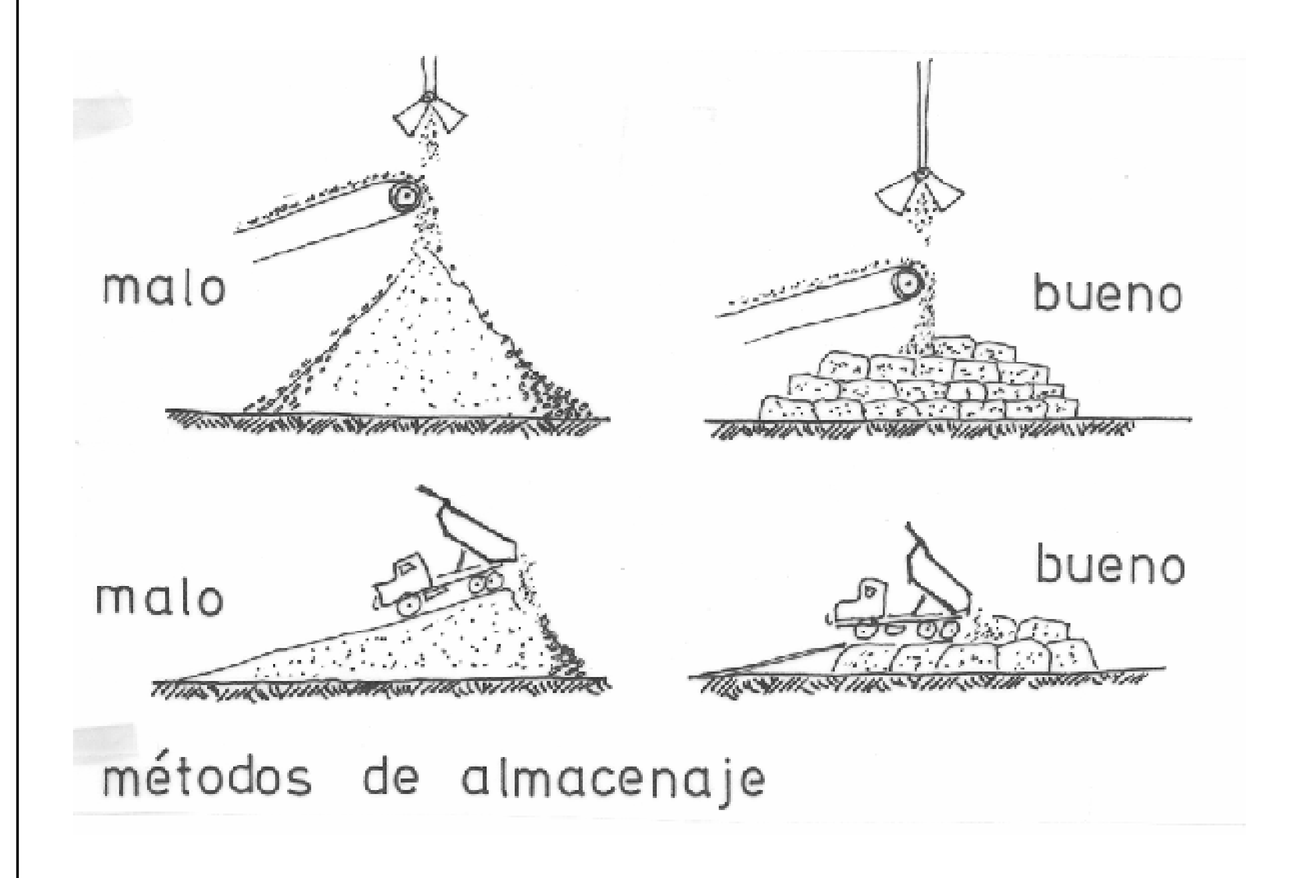
En este capítulo se trata únicamente sobre los métodos de ensayos comunes para los agregados naturales pesados y ligeros que se utilizan en el Ecuador.

En algunos países Latinoamericanos, la palabra agregado se conoce también con el nombre de *áridos.*

2.2 Toma de la muestra. Para determinar la calidad del material, es necesario tomar una muestra de la cantidad total. Esta muestra tiene sentido únicamente cuando las características de la misma están de acuerdo con las de la cantidad global.

Antes de tomar la muestra se debe evaluar, mediante observación visual, si la cantidad tiene más o menos homogeneidad.

Especialmente en el almacenaje de agregados gruesos pueden aparecer dos mezclas, en caso de que de las piedras del conjunto puedan segregarse las más grandes. Para evitar esta segregación deben almacenarse los materiales en capas horizontales.



2.2.1 Cuando no existe duda sobre la homogeneidad razonable de los materiales sujetos al ensayo, se deben tomar submuestras de 10 partes diferentes del lote. Todas estas muestras deben juntarse para formar una sola muestra total.

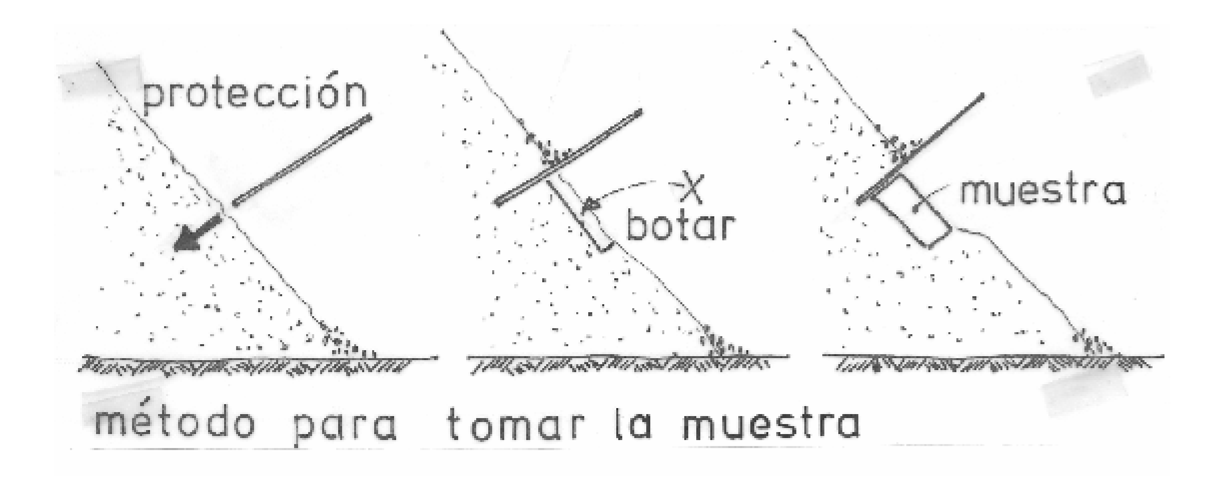
Las cantidades recomendables de las muestras totales son las siguientes:

TABLA 1. Cantidad mínima del material cuando no existe duda sobre la homogeneidad del lote.

Tamaño nominal máximo del agregado en mm	Cantidad mínima del material en kg
63	50
31,5	30
16	20
8	10

Cuando se realiza el muestreo sobre los lados inclinados de una pila de agregados gruesos, puede ocurrir que el material superior al sitio en el que se realiza la extracción se deslice hacia abajo y perturbe la muestra. Para evitar que suceda esto, debe insertarse una plancha de metal dentro de la pila en la parte superior al sitio del cual se va a extraer la muestra (ver Fig.). Antes de la toma de la muestra debe desecharse la capa superior de agregado, ya que éste generalmente tiene un contenido de humedad inferior o diferente al de la masa total interior del lote.

Durante el transporte de la muestra debe cuidarse que no se pierda ninguna parte del material, que no se evapore el contenido de agua y que no se mezcle la muestra con otros materiales extraños.



método para tomar la muestra

2.2.2 Si existe duda sobre la homogeneidad (por ejemplo diferencias en la gradación e impurezas locales), se tomará una muestra de cada lugar del lote que parezca diferente, la cual deberá constar también de una cantidad de sub-muestras, que puede variar desde 1 hasta 10, según el volumen total del lote.

TABLA 2. Cantidad mínima del material de cada muestra, cuando existe duda sobre la homogeneidad del lote.

Tamaño nominal máximo del agregado en mm	Cantidad mínima del material en kg
63	25
31,5	15
16	10
8	5

Para verificar la calidad de un lote grande que conste de tres sublotes, uno de los cuales mediante observación visual contiene alguna impureza de arcillas, se tomará una muestra de este sublote y dos muestras más de los otros, identificando bien de qué parte proviene cada muestra.

Para continuar las investigaciones sobre el material pueden mezclarse las tres muestras, si en ninguna de ellas excede la tolerancia de impurezas. En cambio, si una de estas tres muestras tiene un contenido de impurezas o arcillas no tolerable, todo el lote no es aceptable y debe separarse el sublote descalificado de los otros dos, los cuales pueden mezclarse, así como sus muestras, para continuar con los demás análisis.

2.2.3 *Reducción de la muestra.* Cuando la muestra total que se ha obtenido (según la Sección 2.2.1 o según la Sección 2.2.2) es demasiado grande para realizar el análisis de granulometría con tamices, se debe reducirla por el método del cuarteo o mediante un aparato divisor de muestras.

2.2.3.1 *Método de cuarteo.* Se deposita la muestra sobre una superficie limpia que no absorba humedad o agua de la muestra y se la divide en cuatro partes (ver Fig.).

Los dos cuartos se deshechan y los otros dos se mezclan para formar un nuevo montón, cuidando de que no se pierdan los materiales finos, por lo cual es preferible realizar el cuarteo en un recipiente amplio de metal con bordes verticales.

Este proceso de cuarteo se continúa hasta que se obtenga la cantidad requerida para el análisis específico.

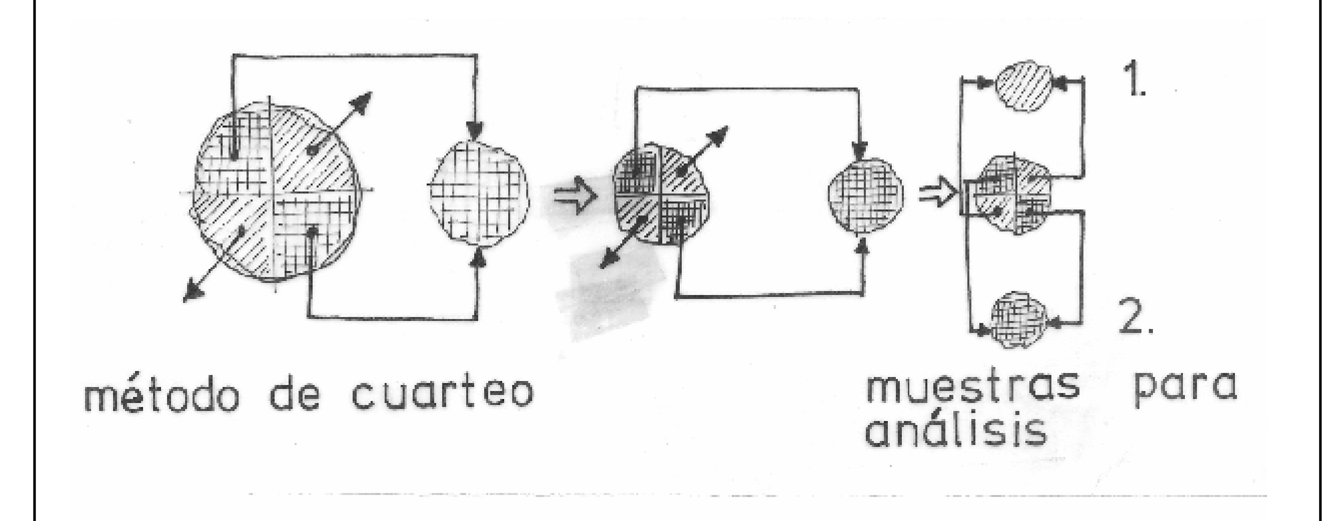
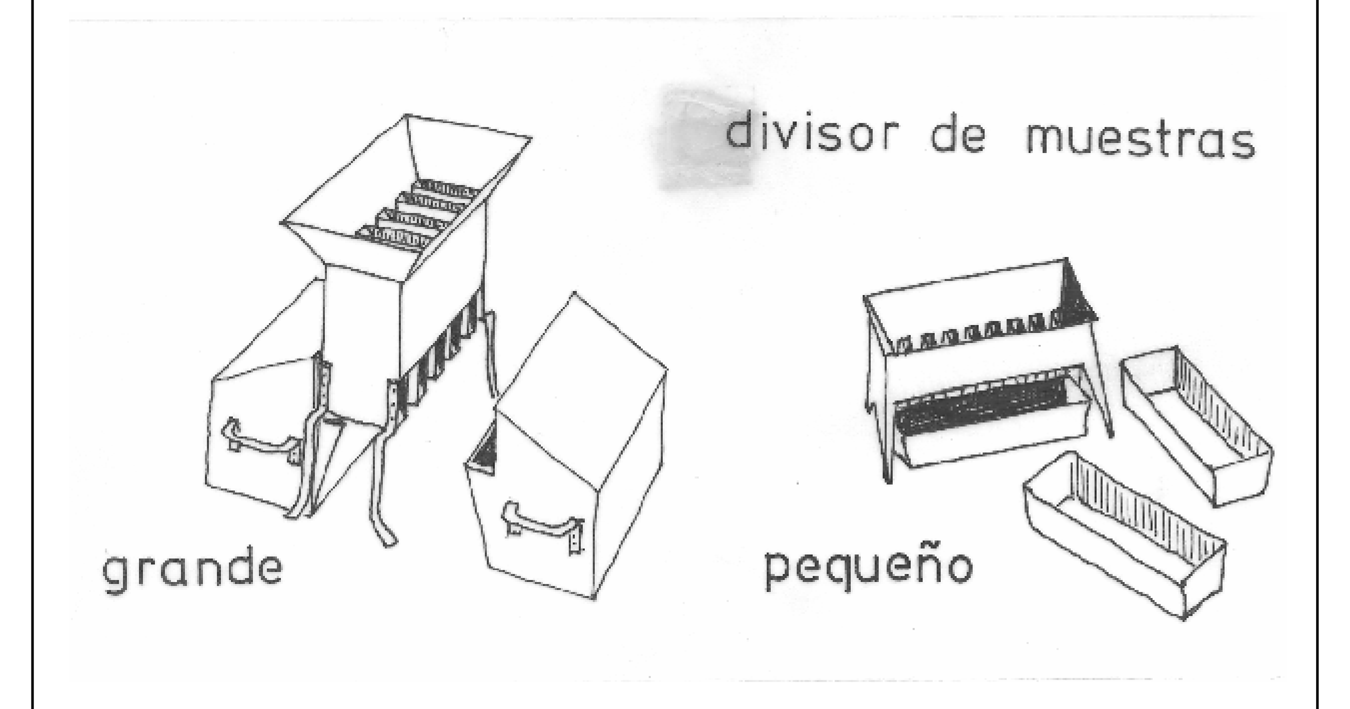


TABLA 3. Cantidades mínimas del material de agregados para análisis de granulometría.

Tamaño nóminal en mm	Cantidad mínima del material en kg
63	15
31,5	5
16	3
8	2
arena	1

2.2.3.2 *Aparato divisor de muestras.* Para separar grandes cantidades de muestra existe un aparato divisor que contiene una serie de casillas que terminan en uno u otro recipiente en secuencia alternativa. Después de pasar la muestra una vez por este aparato, se deshecha el contenido de uno de los recipientes, y con el contenido del otro se repite este proceso, utilizando eventualmente un divisor de muestras más pequeño, hasta que se obtiene una cantidad apropiada para el análisis.

Al utilizar este aparato, grande o pequeño, es necesario recoger cada vez los agregados finos con una paleta y un cepillo.



2.3 Densidad. Existen diferentes definiciones de densidad, la que se simboliza con la letra griega ρ (Ro), y para distinguirla se usa un subíndice:

ρ = *Densidad.* Relación entre la masa y el volumen de un material, medida en kg/m^3 (definición general).

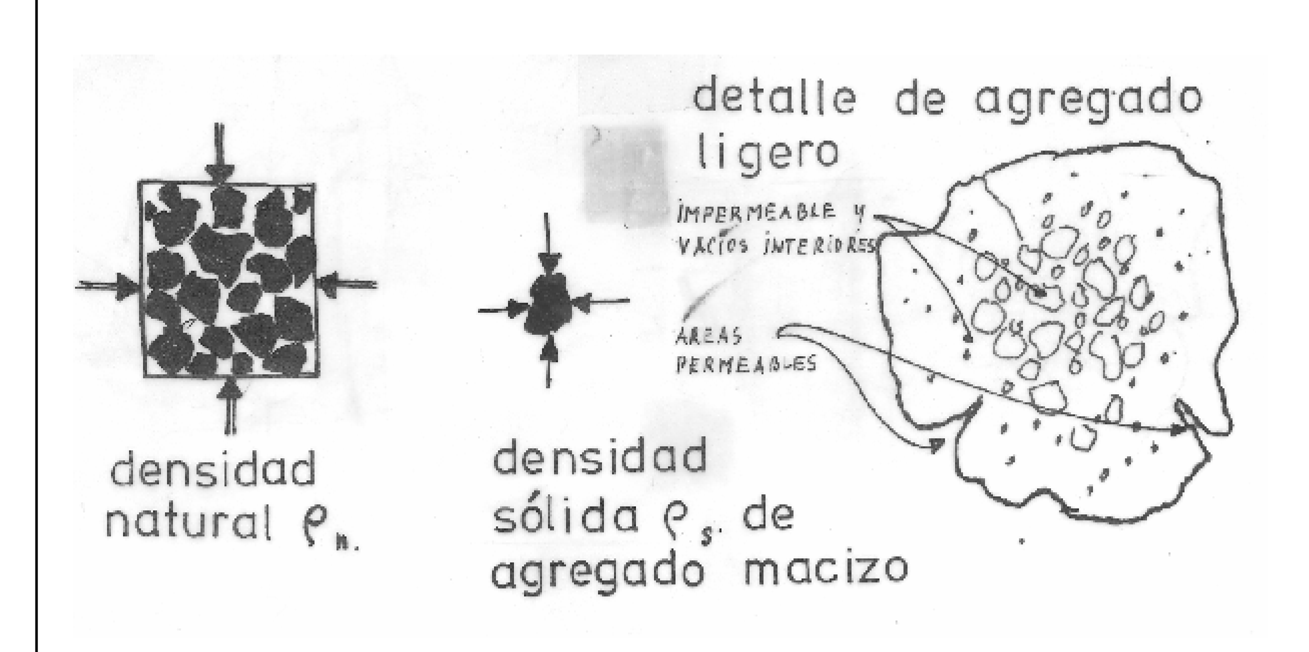
ρ_n = *Densidad natural.* Relación entre la masa total y el volumen total, incluyendo los vacíos permeables e impermeables.

ρ_s = *Densidad sólida.* Relación entre la masa y el volumen de las partículas totalmente sólidas e impermeables del material.

ρ_{RS} = *Densidad sólida relativa.* Relación entre la masa y el volumen de las partículas sólidas, incluyendo las áreas impermeables y vacíos interiores. Este tipo de densidad existe para agregados ligeros.

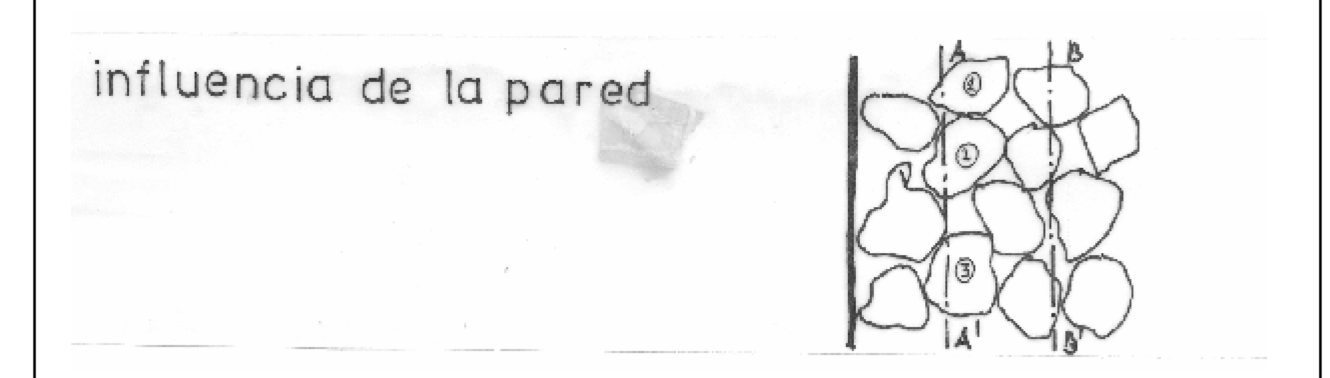
Otro nombre utilizado es la de densidad granular.

ρ_{sat} = *Densidad saturada.* Relación entre la masa total y el volumen total de agregados completamente saturados de agua, pero sin considerar los espacios intermedios entre las partículas.



2.3.1 *Densidad natural* ρ_n. La densidad natural no es un valor determinado para un material granular, pero depende del tamaño de las partículas, de la diversidad de las partículas, del contenido de humedad y del modo de llenar el recipiente para medirla.

El tamaño del recipiente medidor debe ser mucho más grande en comparación del tamaño máximo de las partículas, ya que existe una influencia de la pared del recipiente.



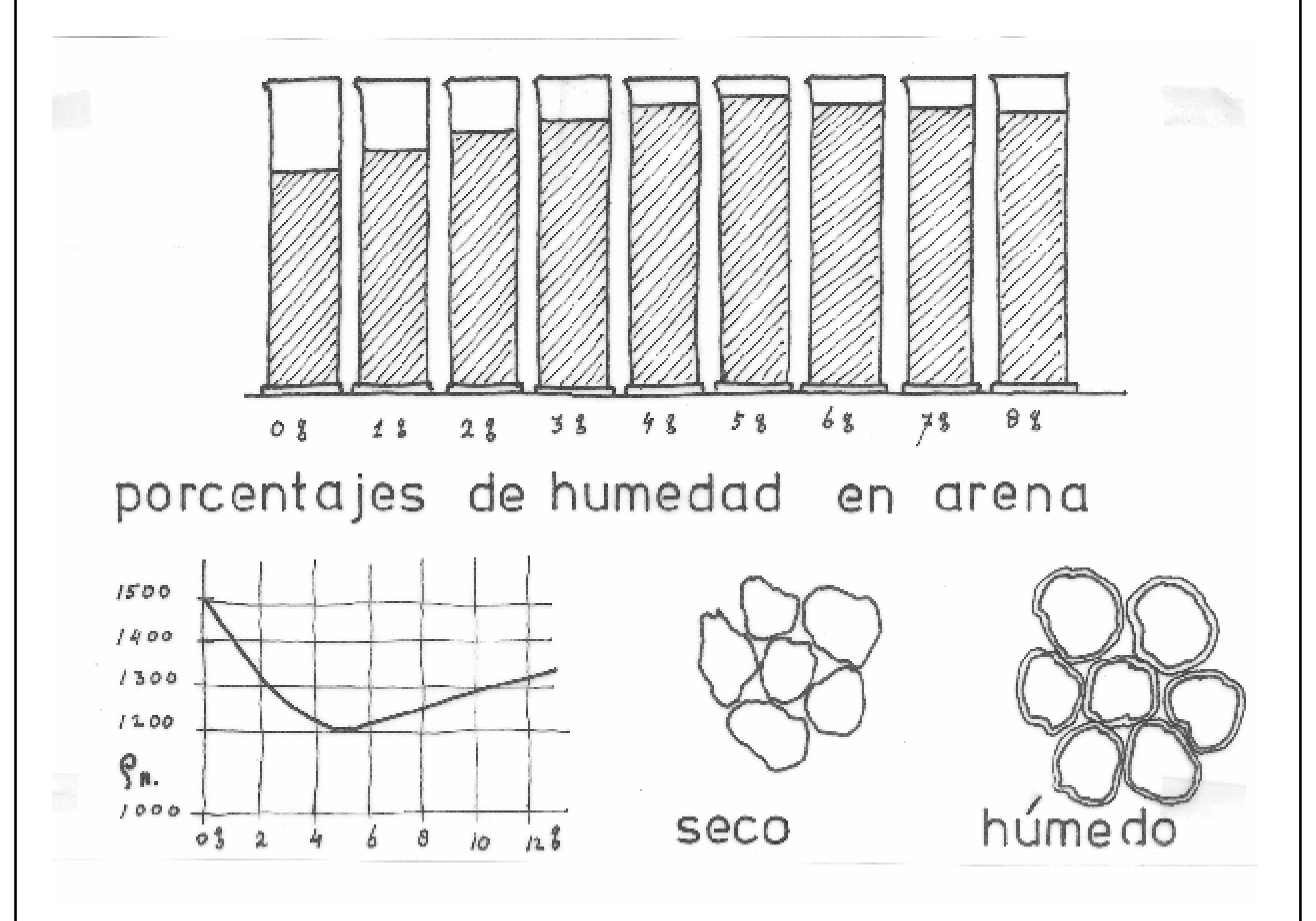
Cuando se imagina un plano paralelo a la pared del recipiente, como A-A' o B-B', éste cruzará una cantidad de partículas, excepto cuando este plano coincide con la pared misma.

Esto significa que, cuando el plano A-A' sea la pared, el tamaño de las partículas 1-3 debe ser más pequeño. Por lo tanto, la influencia de la pared depende de la relación entre el tamaño total del recipiente y las medidas máximas del material granular.

Para arena conviene un recipiente medidor de 5 *l*, pero para determinar ρ_n de un ripio de tamaño nominal de 31,5 mm se necesita un recipiente por lo menos de 20 *l.*

La densidad natural ρ_n en forma seca de arena fina es aproximadamente 1 500 kg/m^3, de arena gruesa 1 600 kg/m^3 y de ripio alrededor de 1 700 kg/m^3.

La densidad natural ρ_n de la arena depende mucho de la cantidad de humedad. La figura siguiente muestra una serie de probetas de vidrio, todas llenas con el mismo peso de arena. Abajo de estas probetas se indica el porcentaje de la humedad y se muestra que la densidad natural ρ_n de arena con 5% de humedad es la más pequeña.



Para determinar ρ_n se debe llenar el recipiente hasta el nivel del borde sin compactar el contenido. Cuando el recipiente está rebosando, se enrasa el contenido al nivel del borde, utilizando una regla; entonces:

$$\rho_n = \frac{masa\ material}{volumen\ recipiente}$$

Ejemplo: un recipiente de 10 *l* (0,010 m^3) pesa 2 700 g = 2,7 kg, llenado con arena pesa 17 350 g; luego, el peso de 10 *l* de arena es de 14 650 g = 14,65 kg.

$$\rho_n = \frac{14{,}65}{0{,}010} = 1465\ kg / m^3$$

Observación: cuando se prepara un mortero con cemento y 100 *l* de arena seca y otros morteros con igual cantidad de cemento, pero con 100 *l* de arena húmeda, se obtienen dos morteros de diferentes composiciones. Si se mezclan éstos con agua, deben utilizarse diferentes cantidades de agua para obtener la misma plasticidad.

Por esta razón, se recomienda hacer la dosificación de los morteros en unidades de peso y no por volúmenes.

2.3.2 *Densidad sólida relativa* ρ_{SR}. Para determinar la densidad sólida relativa de los agregados gruesos y de la arena se utiliza una probeta de vidrio claro con indicaciones de volumen.

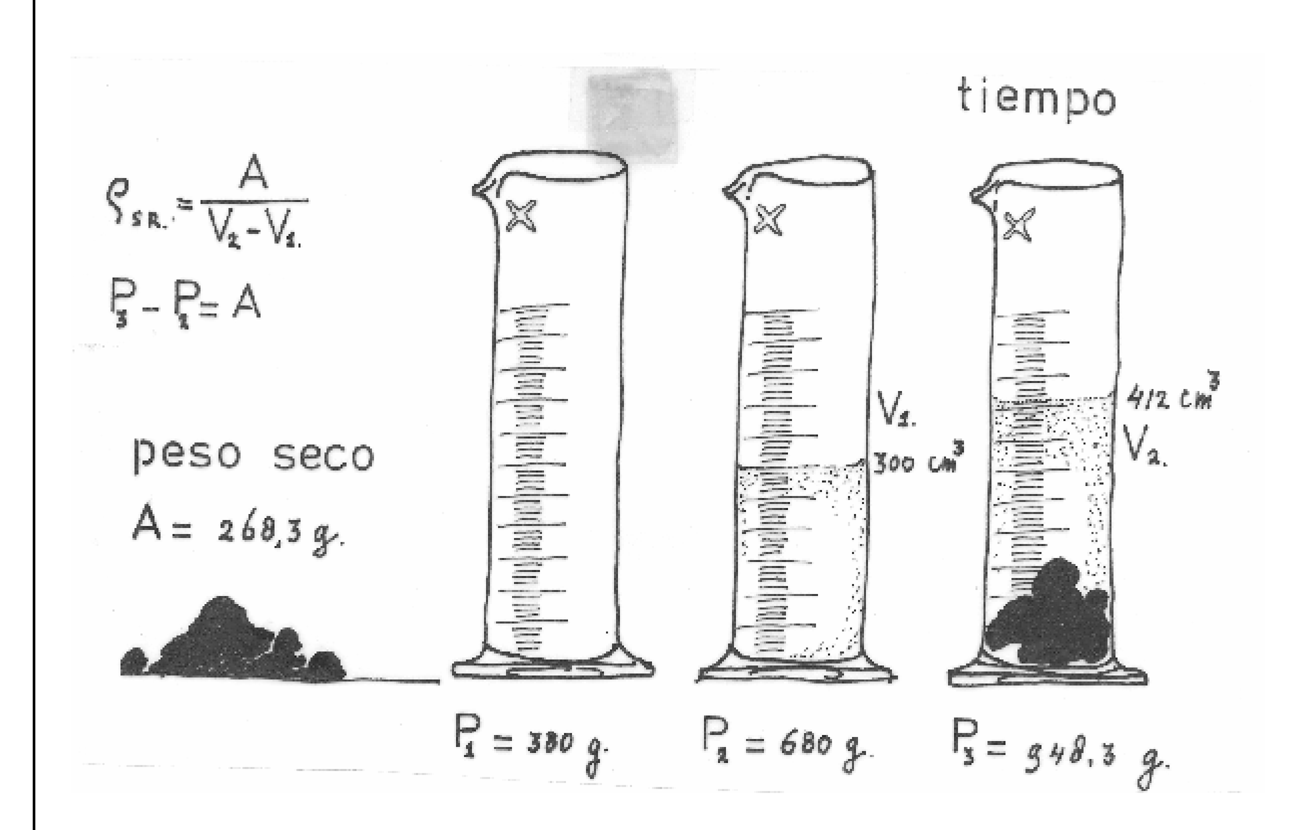
a) se seca la muestra hasta que el peso quede constante y se determina el mismo (valor A);

b) se determina el peso de la probeta de vidrio vacía (valor P_1);

c) se determina el peso de la probeta de vidrio con una cantidad de agua pura que permita añadir la muestra (valor $P_{2)}$; debe registrarse el volumen (valor V_1);

d) se determina el peso de la probeta de vidrio con la cantidad de agua mencionada en c) y con la muestra (valor $P_3 = P_2 + A$); se debe evitar que haya burbujas de aire incluidas en el material de la muestra; y para eliminar las burbujas se puede sacudir ligeramente la probeta, evitando que se pierda el agua. Registrar el nuevo volumen (valor V_2).

$$\textit{La densidad sólida relativa } \rho_{SR} \textit{ es } \frac{A}{V_2 - V_1}$$



$$\textit{En palabras : } \frac{\textit{peso del material seco}}{\textit{volumen de agua desplazado}}$$

Debido a que el peso de agua es de 1 g/cm^3, se puede calcular directamente con los volúmenes. Además, se puede verificar con $P_3 - P_2 = A$.

En el caso de que se trate de medir la densidad ρ_{SR}, de un material poroso, es importante que se deje penetrar el agua en los agregados porosos durante algún tiempo, hasta que el volumen V_2 quede constante.

Varios materiales porosos obtienen el volumen V_2 dentro de una media hora, pero las Normas ASTM C 127-68 y C 128-69 exigen mantener sumergida la muestra en agua por un tiempo de 24 (± 4) horas a una temperatura de 23°C. La muestra debe ser sacudida varias veces.

2.3.3 *La densidad sólida,* ρ_s, se puede medir de la misma manera que se ha explicado anteriormente, cuando se está seguro de que no hay espacios impermeables dentro de los agregados. En caso de duda, los agregados deben ser fraccionados hasta que no tengan espacios impermeables o huecos interiores y se proceda de igual manera.

La densidad sólida p_s o la densidad sólida relativa ρ_{SR} se pueden determinar con más precisión aumentando las cantidades o utilizando el picnómetro.

Con el picnómetro se siguen los siguientes pasos:

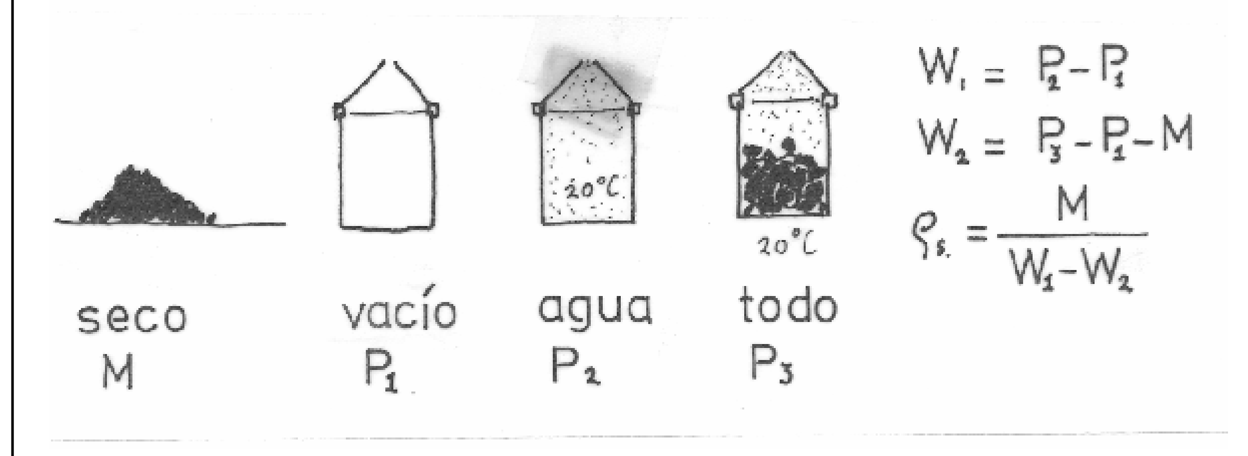
a) se determina el peso de la muestra del material seco y eventualmente pulverizado; Valor M;

b) se determina el peso del picnómetro vacío; Valor P_1;

c) se determina el peso del picnómetro lleno de agua pura a una temperatura de 20°C, cuidando que la superficie exterior del picnómetro esté seca; Valor P_2;

d) se vacía el picnómetro, se llena con la muestra del material y luego se añade agua pura a 20°C, evitando que se incluyan burbujas de aire; se seca la superficie exterior del picnómetro; Valor P_3 ;

e) se determina el peso del agua del paso c) $W_1 = P_2 - P_1$
se determina el peso del agua del paso d) $P_3 = P_1 + M + W_2$
entonces $W_2 = P_3 - P_1 - M$
se determina el volumen de la muestra del material = $W_1 - W_2$
Densidad sólida $\rho_s = \dfrac{M}{W_1 - W_2}$



2.3.4 *Densidad saturada* $\rho_{sat.}$ La determinación de la densidad saturada exige un procedimiento un poco diferente que el de la densidad relativa ρ_{SR} .

Se la determina únicamente cuando se trata de agregados porosos que pueden absorber agua de la lechada de hormigón, en caso de utilizar hormigones ligeros.

El procedimiento es el siguiente:

a) Todo el material de la muestra de ensayo debe ser retenido en el tamiz INEN 4.75 mm, eliminando así todas las arenas y finos, los que no intervienen en éste método.

Se lava la muestra de ensayo hasta asegurar que han sido eliminados también el polvo y otros recubrimientos superficiales de las partículas, secándola hasta obtener masa constante.

El proceso de secado puede lograrse por medio de un horno que sea capaz de mantenerse a una temperatura uniforme de $105^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$.

El proceso manual con olla y fuego resulta a veces laboriosos.

b) Se deja que la muestra se enfríe atemperatura ambiente, lo que puede durar de una a tres horas; luego se la coloca en una canasta de peso conocido y se determina el peso total.

Se calcula el peso de la muestra seca (valor A).

La canasta que se utilice debe ser de malla de alambre, cuyos huecos tengan un diámetro aproximado de 3 mm, de modo que todo el material se pueda transportar sin pérdidas.

c) Se sumerge la canasta con la muestra en el agua a temperatura ambiente ($20^{\circ}C$) por un período de 24 ± 4 horas agitándola, para sacar las burbujas de aire o hasta que el volumen total del agua quede a un nivel constante. Se determina la masa de la muestra de agregado sumergida en el agua (valor B).

d) Se retira la muestra del agua y se la envuelve en un paño absorbente que esté un poco húmedo, hasta que toda la capa visible de agua haya sido eliminada de las partículas del agregado. Se determina directamente la masa de la muestra en estado saturado y de superficie visiblemente seca (valor C).

$$La\ densidad\ saturada\ se\ calcula\ con\ \rho_{sat} = \frac{C}{C-B}$$

Con los valores mencionados anteriormente también se puede calcular la densidad sólida mediante:

$$\rho_S = \frac{A}{A-B}$$

Además, se puede calcular la densidad sólida relativa mediante:

$$\rho_{SR} = \frac{A}{C-B}$$

El porcentaje de absorción de agua del agregado grueso se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$porcentaje\ P = \frac{(C-A)x100}{A}$$

Los valores de los resultados de varios ensayos de la misma muestra no pueden variar en más de 2% y se deben tomar los valores promedios de los valores correspondientes obtenidos como valores definitivos.

2.4 Absorción de agua. Los agregados ligeros pueden absorber agua, debido a su estructura porosa. Durante las primeras 24 horas, los agregados ligeros pueden absorber del 5 al 30% de humedad, en relación a la masa seca. Cuando los agregados están almacenados en sitio descubierto, la absorción máxima es alrededor del 70% de la absorción durante 24 horas. Para la producción de hormigón con agregados ligeros, se recomienda utilizar agregados que estén parcialmente saturados, ya que éstos absorben menos agua durante la mezcla, transporte, fundición y compactación (vibración), todo lo cual reduce el riesgo de que la trabajabilidad sea menor.

En Alemania, según DIN, existe la costumbre de medir la absorción de agua después de 30 minutos y luego de 24 horas. También es importante saber cómo se desarrolla la absorción de agua en el tiempo intermedio.

Para ejecutar este ensayo, se seca el agregado hasta obtener masa constante y se deja enfriar a temperatura del ambiente. Este último paso es importante porque los agregados calientes absorben más rápido el agua que los agregados a temperatura ambiente.

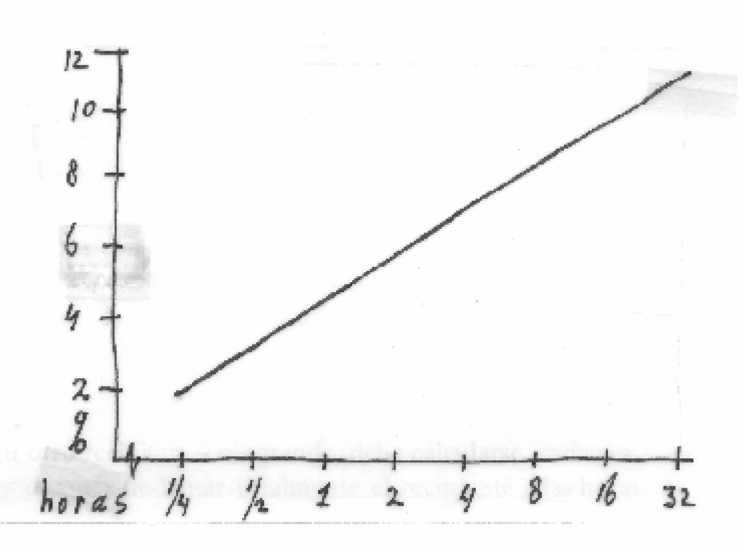
Después se pesan 500 gramos del material y se introducen en una probeta grande de vidrio con indicación de escala en el cuello, luego se llena totalmente esta probeta con agua a la misma temperatura ambiente y se coloca la tapa.

A los 15 minutos se registra la disminución del nivel del agua, por ejemplo, 10 cm^3. Entonces la absorción es de $\frac{10}{500} = 2\%$

Este registro se tomará en los tiempos siguientes: 1/2 hora, 1, 2, 4, 8, 16 y 32 horas.

Registrando los datos en un diagrama, se puede obtener la siguiente representación:

absorción de agua en porcentajes de la masa de la muestra seca



Cuando se utiliza una probeta ancha u otro recipiente más grande, debe calcularse, cada vez, mediante el aumento del peso total y después de llenar totalmente el recipiente a las horas indicadas.

2.5 Contenido de humedad. Para determinar la densidad o para el análisis granulométrico, es necesario que el material esté seco. Con el material se puede calcular la pérdida de peso y, por lo tanto, el contenido de humedad original.

2.5.1 *Determinación del contenido de humedad por medio de secado.* Debe tomarse una muestra natural y determinarse la masa (Valor N).

Esta misma muestra se seca hasta obtener masa constante y se deja enfriar, para evitar errores en el proceso de pesado, a causa del aire caliente (Valor A).

El contenido de humedad es $\frac{N - A}{A} x100 = x\%$

Se recomienda indicar siempre el contenido de humedad con relación al material seco.

2.5.2 *Determinación de/ contenido de humedad por peso enagua.* Este método es aplicable cuando se conoce la densidad sólida ρ_s del material y es apropiado para los agregados sólidos.

Según la Ley de Arquímides, cada cuerpo sumergido en un líquido recibe una fuerza contraria a la gravedad igual al peso del volumen del líquido desplazado por el cuerpo.

La humedad superficial de los agregados húmedos no tiene peso si éstos se encuentran sumergidos en agua.

La masa de los agregados sumergidos en agua se llamará el valor B.

La masa de los agregados húmedos en estado natural se llamará N.

La densidad del agua = 1 000 kg/m^3

Con estos datos se puede calcular el peso de la muestra en estado seco en el aire (Valor A).

$$A = \frac{\rho_s}{\rho_s - 1000} x B$$

La cantidad de agua como humedad de los agregados es N - A = h

El contenido de humedad es $P = \frac{h}{A}$

Ejemplo: una muestra de ripio húmeda tiene una masa de 2 040 g (N) en el aire.

En agua, el peso es de 1 241 g (B).

La masa bajo el agua consiste en: masa de ripio menos la fuerza contra la gravedad = volumen ripio x ρ_s, menos volumen ripio x 1 000 = volumen ripio x (ρ_s - 1000).

Cuando ρ_s = 2 650 kg/cm^2 , la masa en el agua es: volumen ripio x (2 650 - 1000) = volumen ripio x 1650.

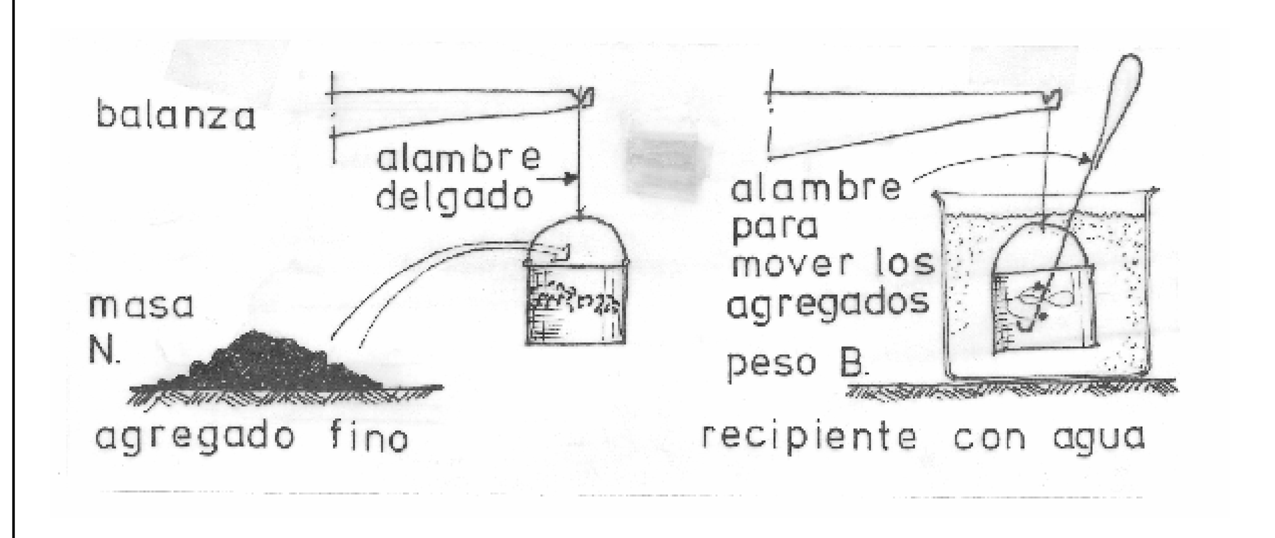
La muestra de ripio seco (A) en el aire pesa entonces:

$$A = \frac{2650}{1650} x \; peso \; en \; el \; agua = \frac{2650}{1650} x \, 1241 = 1993 g \; ecuación(\; A = \frac{\rho_s}{\rho_s - 100} xB \;)$$

La cantidad del agua sería de 2 040 - 1993 = 47 g ecuación (N - A = h)

El contenido de humedad es:

$$P_1 = \frac{47}{1993} x \, 100\% = 2,36\% \rightarrow 2,4\%$$



Para analizar agregados finos se puede utilizar un recipiente cerrado y mover cuidadosamente los agregados dentro del agua hasta que no suban burbujas. Se debe pesar el recipiente pequeño sin agregados dentro del agua, para determinar después el peso del conjunto.

2.6 Análisis granulométrico.

2.6.1 *Tamices utilizados.* Los tamices que se utilizan se basan en la serie de tamices de la ISO (Norma INEN 154).

Los 10 tamices de agregados serían todos de una placa de acero con aberturas cuadradas o de alambre tejido formando cuadrados. Especialmente los tamices para arena (4 mm e inferior) son, de preferencia, de malla de alambre. Los dos tamices 22,40 mm y 11,20 mm son utilizados para hacer un control adicional, pero en los análisis normales no se utiliza, y a veces se deja el tamiz de 63 mm, que se utiliza únicamente para agregados muy grandes.

Mallas de alambre. Tamaño nominal INEN/ISO		Placas perforadas Tamaño nominal mm		Tamices hormigón Tamaño nominal	
mm	**MM**	**Abertura cuadrada**	**Abertura redonda**	**Aberturas cuadradas**	
				mm	**μm**
100		100	100		
63		63	63	63	
45		45	45	-	
31,50		31,50	31,50		
22,40		22,40	22,40	(22,40)	
16		16	16	16	
11,20		11,20	11,20	(11,20)	
8		8	8	8	
5,6		5,60	5,60	-	
4		4	4	4	
2,8		-	2,80	-	
2		-	2	2	
1,4		-	1,4	(1,4)	
1		-	1	1	
	710				-
	500				500
	355				-
	250				250
	180				-
	125				125
	90				-
	63				63
	45				-

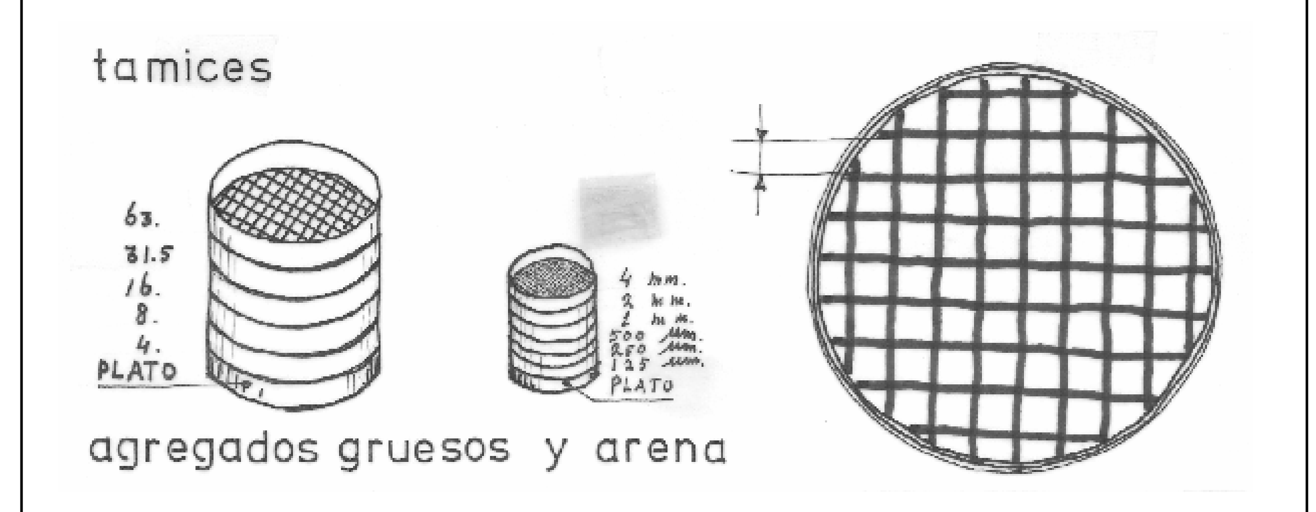
Las comparaciones con los tamices ASTM son las siguientes;

Tamaño nominal. Tamices rectangulares normalizados INEN/ISO		Tamaños nominales. Tamices ASTM rectangulares de alambre	
Placa	**Alambre**	**Designación**	**Exacto mm**
63 mm	63 mm	2 1/2 pulg	63,50
31,50	31,50	1 1/4 pulg	31,70
(22,40)	(22,40)	7/8 pulg	22,20
16	16	5/8 pulg	15,90
(11,20)	(11,20)	7/16 pulg	11,10
8	8	5/16 pulg	7,93
4	4	4 000 μm (No. 5)	4,00
	2	2 000 μm (No. 10)	2,00
	1,4	1 400 μm (No. 14)	1,40
	1 mm	1 000 μm (No. 18)	1,00
	500μm	500μm (No. 35)	0,50
	250μm	250 μm (No. 60)	0,25
	125 μm	125 μm (No. 120)	0,125
		63 μm (No. 230)	0,063

Para mayor uniformidad, se recomienda utilizar únicamente los tamices regulares.

Además de estos tamices se utilizan platos cerrados, para captar los finos que pasan por todos los tamices, y una tapa superior.

Los tamices son construidos de tal manera que se puedan colocar exactamente uno encima del otro, para evitar que se pierdan polvos durante el proceso de sacudimiento.



2.6.2 *Procedimiento de Ensayo.* Las masas mínimas para análisis de muestras fueron mencionadas en la Sección 2.2.1.

La masa total se mide con una exactitud de 5 g, como también las masas retenidas en cada tamiz individual después del proceso empleado para sacudir y agitar.

Antes de realizar el análisis de tamices, se debe secar la muestra hasta obtener masa constante, para lo cual puede utilizarse una olla grande sobre fuego de gas o un horno, y luego realizar las siguientes operaciones:

a) Se arman los tamices uno encima del otro en orden creciente de tamaños de aberturas, desde un plato recolector hasta el mayor, usando aquellos tamices que sean necesarios para las especificaciones correspondientes al material que debe ensayarse.

b) Se coloca la muestra seca de masa previamente determinada en el tamiz mayor superior y se agita el conjunto por un período suficiente.

   Se considera que se puede terminar el proceso para sacudir los tamices, cuando la cantidad de agregados que pasa en un minuto por el tamiz es inferior a la exactitud con la que se determina la masa de la muestra (= 5 g).

   Tratándose de una agitación mínima, debe mantenerse el tamiz en una mano, ligeramente inclinado, mientras se golpea con la otra, a razón de dos golpes por segundo; después de 25 golpes se gira el tamiz 360^0 golpeándole sobre una base sólida y limpia en la cual se debe recoger los restos.

c) Se determinan las masas de las cantidades retenidas en cada tamiz con la precisión de 5 g y se anotan estos valores.

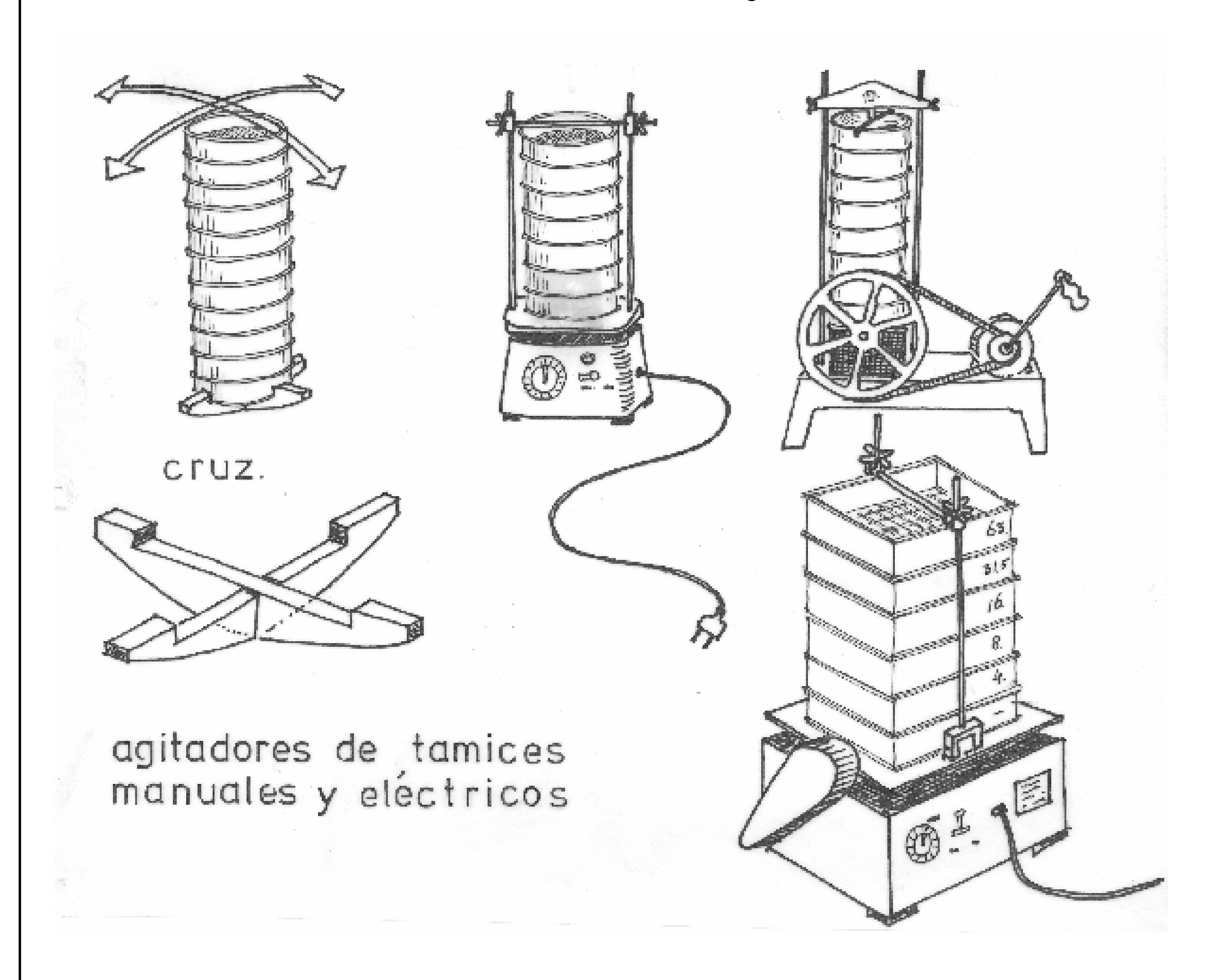
La masa del conjunto de los valores individuales de los tamices y el plato inferior deben ser iguales a la masa de la muestra inicial.

d) Se repite este proceso con la misma muestra y se calcula el promedio de los dos resultados, para lo cual se divide previamente en dos partes la muestra total.

En la práctica siempre hay diferencias pequeñas entre los dos resultados, las cuales no causan mayor efecto en el segundo análisis.

Realizar los análisis granulométricos de la arena es más laborioso que para los agregados gruesos, porque hay una cantidad mayor de partículas.

No conviene utilizar solamente un mecanismo o un sacudidor eléctrico, ya que es necesario remover íntimamente el contenido del tamiz con la mano, girando lentamente el mismo.



Cuando la cantidad que queda en un tamiz es muy grande, lo cual puede ocurrir a veces en el tamiz de 250 µm, es difícil que las partículas más pequeñas pasen por este tamiz, debido al espesor del material retenido. En este caso, se puede utilizar un tamiz intermedio o separar el material en dos o tres partes y tratar cada parte individualmente. Los tamices de pequeñas aberturas se tapan fácilmente con las partículas finas. Por esta razón, se debe invertir el tamiz y limpiarle con un cepillo fino, para recoger todas las partículas antes de determinar la masa.

e) Se calculan los porcentajes de los retenidos en cada tamiz, a base de la muestra total.

2.6.3 Por ejemplo, para un análisis granulométrico se utilizó 5 kg de ripio. Entonces, para calcular los porcentajes de las cantidades (en gramos) retenidas en cada tamiz, utilizamos:

$$\%\ retenido\ en\ un\ determinado\ tamiz = \frac{Peso\ promedio\ de\ la\ cantidad\ retenida\ (g)}{5\,000\,g}\ x\ 100$$

$$= \frac{Peso\ promedio\ de\ la\ cantidad\ retenida\ (en\ g)}{50}$$

Los porcentajes así obtenidos se redondean al número entero más cercano. Por ejemplo: si el promedio de las cantidades retenidas en los dos análisis en el tamiz 31,5 mm es: (55 + 35)/2 = 45 g el porcentaje es 45/50 = 0,9. Este valor se redondea al 1% como regla práctica y los promedios de las cantidades retenidas en cada tamiz (en g) se deben dividir para el mismo factor 50, que representa el 1^0/o del peso total de la muestra utilizada (en g), para expresarlas en porcentaje.

En la tabla siguiente se dan los resultados de un análisis granulométrico de ripio. Se indican primeramente los valores exactos y después los valores redondeados. En la práctica se deben anotar directamente los valores redondeados.

Tamices ripio	**Retenido en los tamices**				
	en gramos		**Promedio**		**Redondeado**
	1o. análisis	**2o. análisis**		**en %**	
63	0	0	0	0	0
31,5	55	35	45	0,9	1
16	1 210	1 110	1 160	23,2	23
8	2 840	2 910	2 875	57,5	58
4	855	900	877,5	11,55	18
2	40	45	42,5	0,85	1
1 mm	0	0	0	0	0
500µm	0	0	0	0	0
250 µm	0	0	0	0	0
125µm	0	0	0	0	0
TOTAL	5 000	5 000	5 000	100	101

Observando esta tabla pueden hacerse las siguientes anotaciones:

a) Las mediciones de la masa de las cantidades retenidas en los tamices están aproximadas a los 5g, lo que da como resultado una exactitud adecuada para fines de cálculo de los porcentajes.

b) El redondeo de los valores debe hacerse una sola vez. Por ejemplo, para el tamiz de 2 mm no se puede redondear 0,85 a 0,9 y este valor redondear a 1.

Cuando se procede de esta forma, se puede cometer el siguiente error:
3,47% → 3,5% → 4%

Como 0,47 es menor que 0,5; 3,47 debe ser redondeado directamente a 3%

c) Los siguientes ejemplos indican la forma de redondear los valores:

3,47	sería	3	18,6	sería	19
8,0	sería	8	47,56	sería	48
6,3	sería	6	73,9	sería	74
1,5	sería	2	121,4	sería	121
14,50	sería	15	0,38	sería	0

d) Redondeando los valores puede ocurrir que la suma de los porcentajes redondeados no sea 100, como por ejemplo 101% en la tabla anterior. Esto no puede suceder. Por consiguiente, se debe elegir el valor más grande, en que el efecto del ajuste sea el mínimo para redondear los porcentajes. En el ejemplo anterior se procede de la siguiente manera: el porcentaje más alto resulta ser el tamiz de 8 mm, con 57,5%que se redondea a 57%, siendo el resultado total 100%.

La Tabla quedaría de la siguiente forma:

Análisis tamices	1o. análisis	2o. análisis	Promedio	%
63	0	0	0	0
31,5	55	35	45	1
16	1 210	1 110	1 160	23
8	2 840	2 910	2 875	57
4	855	900	877,5	18
2	40	45	42,5	1
1mm	0	0	0	0
500µm	0	0	0	0
250Mm	0	0	0	0
125µm	0	0	0	0
Total	5 000	5 000	5 000	100%

Suponiendo que se ha realizado el análisis granulométrico de una muestra de arena de 1 kg = 1 000 g, el 1% de 1 000 g es 10 g.

Deben dividirse los resultados del análisis (en g) para 10 y se obtienen los porcentajes para cada tamiz.

Tamices arena	Valores en gramos			%
	1°. análisis	2°. análisis	Promedio	
4mm	80	76	78	8
2	88	94	91	9
1	98	106	102	10
500 µm	314	298	306	31
250µm	324	320	326	32
125 µm	92	98	95	10
Resto	4	0	2	0
Total	1 000	1 000	1 000	100%

El porcentaje del tamiz 250µm debería originalmente redondearse a 33%, con lo cual el total sería de 10%, siendo el redondeado 32%.

El paso siguiente consiste en determinar la suma de los porcentajes retenidos acumulados, lo que debe hacerse, en primer lugar, para el análisis granulométrico de la arena.

FECHA: 1o. de Agosto de 1977
ORIGEN: Mina de Colorados - Panamericana Sur - Río Verde

Análisis Tamices	en gramos			en %	Suma de los retenidos en %
	1o. análisis	2o. análisis	Promedio		
4 mm	80	76	78	8	8
2	88	94	91	9	8 x 9 = 17
1	98	106	102	10	17 x 10 = 27
500µm	314	298	306	31	27 x 31 = 58
250 µm	324	328	326	32	58 x 32 = 90
125 µm	92	98	95	10	90 x 10 = 100
resto	4	0	2	0	
Total	1 000	1 000	1 000	100%	Suma 300%

El resto que pasa por el tamiz de 125µm no se tomará en cuenta en el cálculo.

Para la arena, el valor total de la suma de los porcentajes retenidos acumulados debe estar entre 200 y 330 y en el caso mencionado aquí es de 300. Este valor se divide para 100 y se obtiene el módulo de finura, que en este caso es 300/100 = 3. Este módulo de finura fue desarrollado por DUFF ABRAMS.

En base de estos datos, el tecnólogo de hormigón de la fábrica o de la obra puede constatar si este material cumple con los requisitos. Además, puede utilizar estos datos para determinar la composición de la mezcla ripio-arena.

Para ripio o agregado grueso se determina el módulo de finura según el mismo método.

Es importante indicar siempre en la tabla de dónde proviene el material.

ORIGEN: Mina Coop. Rumipamba - Quevedo
DIRECCION: Loma Selva Alegre - Km 5 Santo Domingo
FECHA: 10 de Septiembre 1977 **TRANSPORTE:** Álvarez José

Análisis	**en gramos**			%	**Suma de los retenidos en %**
Tamices	**1o. análisis**	**2o. análisis**	**Promedio**		
6.3 mm	0	0	0	0	0
31,5	36	44	40	1	1 + 0 = 1
16	1 336	1 384	1 360	27	1+ 27 = 28
8	1 250	2 210	2 230	45	28 + 45 = 73
4	1 156	1 134	1 145	23	73 + 23 = 96
2	192	208	200	4	96 + 4 = 100
1 mm	30	20	25	0	100 + 0 = 100
500µm	0	0	0	0	100 + 0 = 100
250µm	0	0	0	0	100 + 0 = 100
125 µm	0	0	0	0	100 + 0 = 100
Total	5 000	5 000	5 000	100%	Suma 698

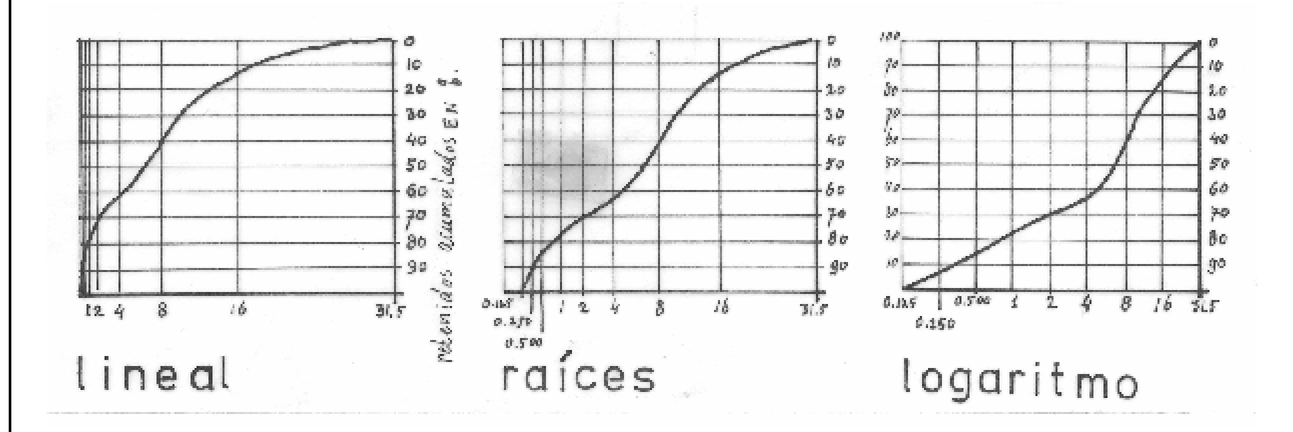
Otro ejemplo de un análisis de granulometría:

ORIGEN: Mina Cobrados
DIRECCION: Panamericana Sur - 12 1/2 km Río Verde
FECHA: 15 de julio 1977 **TRANSPORTE:** Vargas Bayardo

Análisis	**en gramos**				**Suma de los retenidos en %**
Tamices	**1o. análisis**	**2o. análisis**	**Promedio**	%	
8 mm	20	24	22	2	2
4	60	54	57	6	8
2	120	110	115	12	20
1	182	200	191	19	39
500 µm	332	318	325	32	71
250 µm	278	186	182	18	89
125 µm	98	92	95	10	99
Resto	10	16	13	1	
Total	1 000	1 000	1 000	100%	398

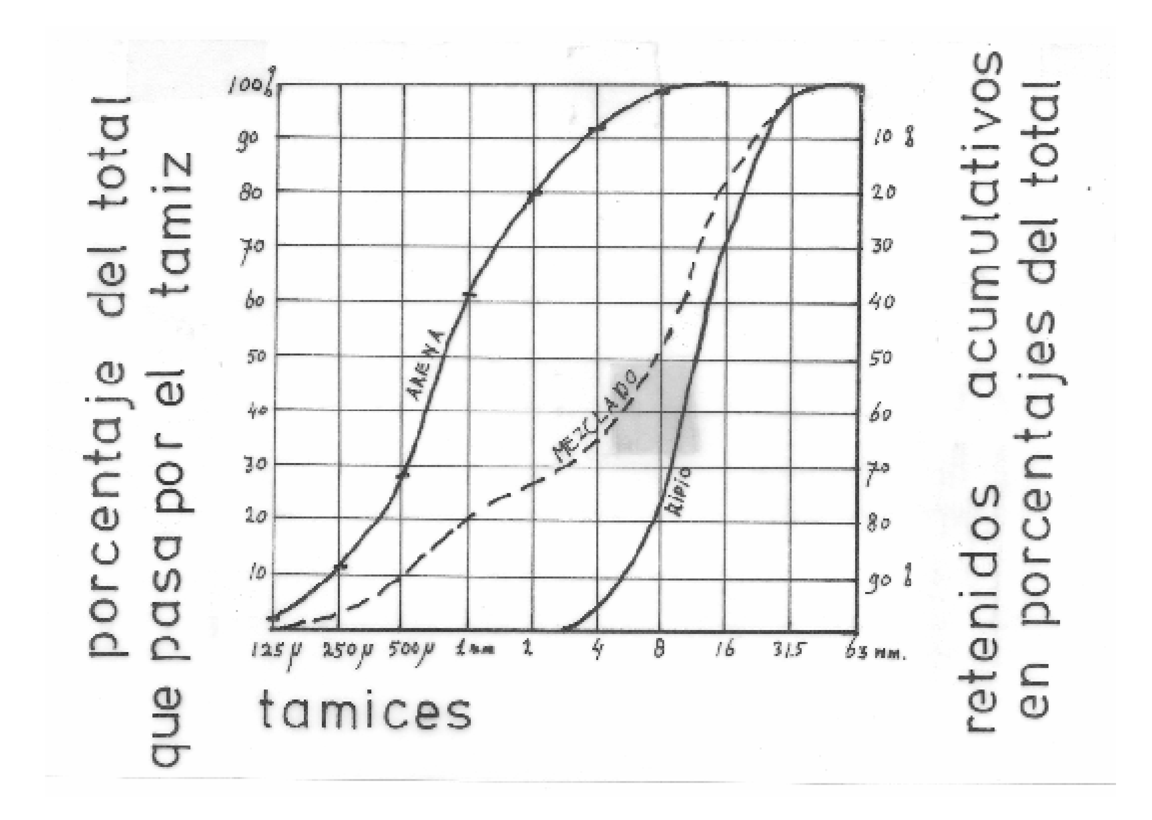
2.6.4 Dibujo del diagrama de granulometría.

Los resultados del análisis de granulometría son registrados en un diagrama:



Observando los diagramas, constatamos que el diagrama logarítmico es el más apropiado para registrar los datos de los análisis de granulometría. En la línea horizontal logarítmica están indicados los tamices. Al lado derecho están indicados los retenidos acumulativos en porcentajes y en forma lineal, mientras al lado izquierdo constan los porcentajes acumulativos que han pasado el tamiz.

Los últimos análisis de arena y ripio se registran según el diagrama siguiente:



En el Capítulo IV se explica como se obtiene la curva que representa la mezcla de arena y agregados gruesos, y en el diagrama anterior, se indica la curva de la mezcla con una línea de trazos

2.7 Dureza y resistencia de los agregados gruesos.

En el Ecuador se pueden encontrar agregados de muchas variedades que provienen de diversas estructuras geológicas.

Generalmente los agregados que son de rocas de basalto y granito son de excelente resistencia. Un gran porcentaje de piedras que se encuentran en los depósitos de los ríos son de estas características. Por el efecto de la erosión acelerada en los ríos, por el agua y movimiento de las piedras, estas mismas son en su mayoría de alta dureza y resistencia.

En cambio, en las regiones de la costa existen depósitos de sedimentos que tienen a un lado grandes cantidades de impurezas y arcillas, y por otra parte son aglomeraciones que tienen poca dureza o resistencia, siendo piedras blandas, mezcladas con varios finos.

La determinación de la calidad de las piedras indicada en los párrafos siguientes es, ante todo, un método de campo, que se ejecuta en la mina o posible mina de piedras.

La calidad definitiva de los agregados utilizados se determina fracturando las piezas en un ensayo, en el que las piedras no se rompen en el plano de fractura, cuando la muestra tiene la resistencia del diseño.

2.7.1 *Determinación de las partículas blandas del agregado grueso por su resistencia al rayado.* El rayado se realiza por medio de un punzón de latón de 1,5 mm ± 0,2 mm de diámetro, terminado en su parte inferior en una punta redondeada. La dureza Rockwell del punzón debe estar comprendida entre 65 HR% y 67 HR%.

El latón es un metal amarillo, que resulta de la aleación del cobre con el zinc, y tiene tal dureza que raya una moneda de cobre, pero no raya una moneda de níquel.

Este punzón puede ser fijado en un lapicero.

La muestra debe constar de las siguientes cantidades mínimas:

Pasa el tamiz	Retenido sobre el tamiz	Masa mínima
63	31,5	10 000 g
31,5	16	5 000 g
16	8	2 000 g

El ensayo de rayado se hace con una fuerza de 1 kg sobre el punzón y con cada partícula de la muestra.

Las partículas se consideran como blandas:

a) cuando se produce un surco por el efecto del rayado, sin que el punzón de latón pierda material visiblemente

b) cuando se desprenden partículas de la masa de la roca,

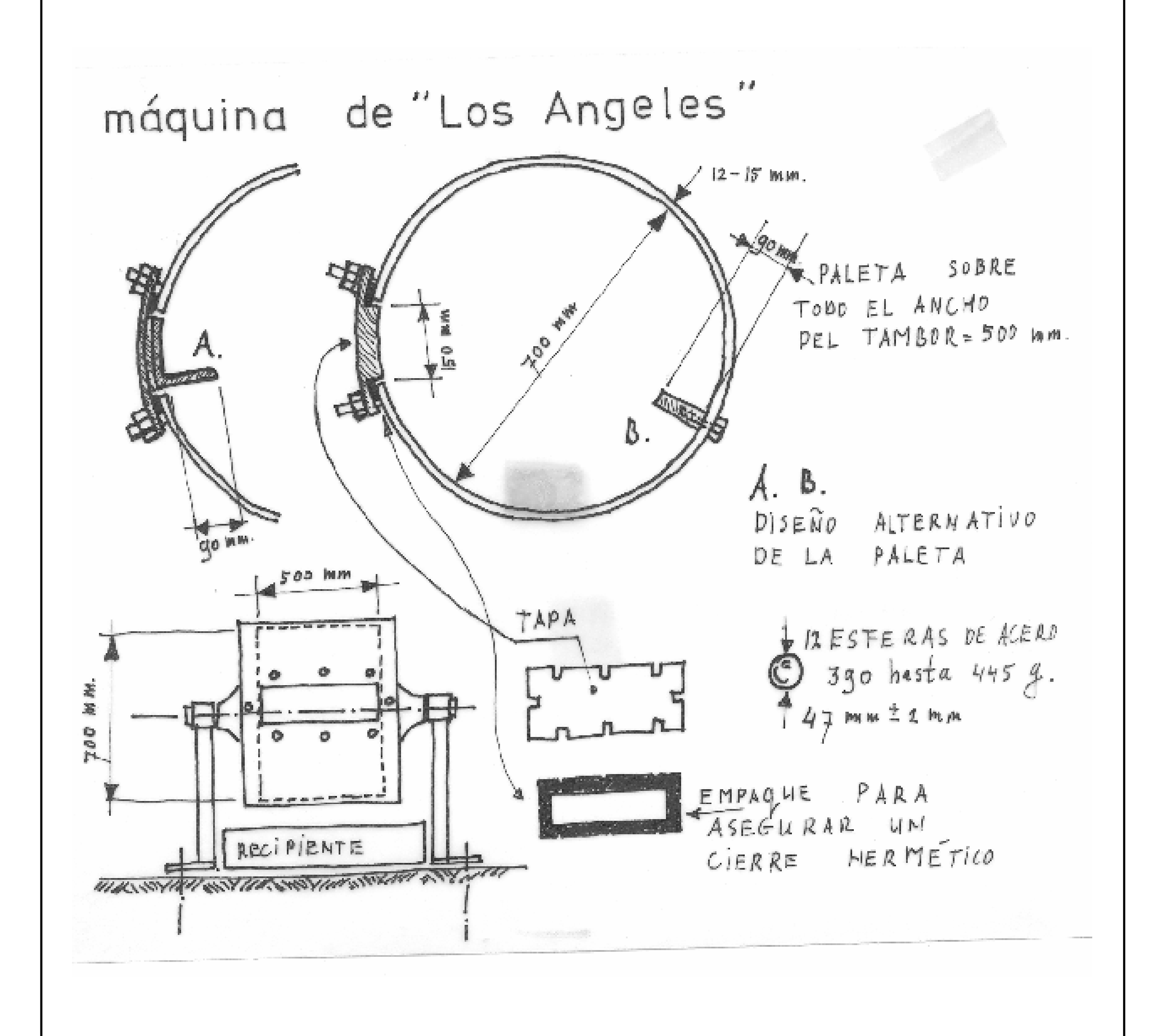
c) cuando una partícula tiene una capa exterior delgada y blanda, y un núcleo duro.

El porcentaje de partículas blandas en total no puede exceder del 3% del peso de la muestra total.

Un agregado que tiene más del 3% de partículas blandas no puede utilizarse para hormigón estructural.

Cuando existe duda sobre la calidad, se debe hacer el ensayo en una superficie recientemente expuesta.

2.7.2 Un método de laboratorio para indicar la dureza de los agregados consiste en usar la máquina de *Los Ángeles* para determinar el valor de abrasión



La masa de la muestra seca para analizar la abrasión de los agregados depende de la gradación, según se indica en la siguiente tabla:

Pasa por el tamiz	Retenido el sobre tamiz	Masas en gramos exactitud %					
		gradaciones					
		1	2	3	4	5	6
63	31,5	10 000					
31,5	16		10 000	5 000			
16	8				5 000		
8	4					5 000	
4	2						5 000
TOTALES		10 000	10 000	5 000	5 000	5 000	5 000
Carga abrasiva de esferas		5 000	5 000	5 000	4 500	3 500	2 500
Tiempo abrasión		1000 revoluciones		500 revoluciones			

Las esferas de la carga de abrasión son de acero y con un diámetro de 47 ± 1 mm, con un peso entre 390 hasta 345 g. Se necesitan unas 12 esferas para el ensayo con 5 000 g de carga abrasiva.

Se coloca la muestra de ensayo y la carga abrasiva en la máquina de Los Ángeles y se hace rotar el cilindro a una velocidad constante de 30 - 33 rpm (rotaciones por minuto).

La velocidad constante es esencial, ya que una pérdida de carrera en el mecanismo motriz puede arrojar resultados de ensayo diferentes al de otras máquinas que rotan a una velocidad constante. La capacidad mínima recomendada del motor sería 750 vatios y para controlar el número de revoluciones la máquina puede tener un contador.

Para las gradaciones 1 y 2 con masa de los agregados de 10 000 g y una carga abrasiva de 5 000 g, el número total de rotaciones es de 1 000 con un control a 200 revoluciones.

Para las gradaciones 3 hasta 6 con masa de los agregados de 5 000 g y una carga abrasiva de 5 000 g a 2 500 g, el número total de rotaciones es de 500 con un control a 100 revoluciones.

El control intermedio proporciona información importante sobre la homogeneidad de los agregados. La cantidad de finos que pasa por el tamiz de 1,4 mm no puede exceder del 25% de la cantidad total de finos después del ensayo, para agregados homogéneos.

El desgaste o valor de abrasión experimentado por el agregado se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$V = \frac{A - B}{A} x\, 100$$

Donde:

A = masa original de la muestra seca.
B = masa del ensayo que queda sobre el tamiz 1,4 mm, la cual es lavada y secada hasta obtener masa constante

El desgaste máximo después de los ensayos es del 30%. Cuando la cantidad V es más del 30% no se puede utilizar estos agregados para hormigón estructural.

2.8 Impurezas de los agregados.

2.8.1 *Contenido de limo. Determinación de los materiales más finos que* 63 µm. El contenido de limo es la cantidad de partículas más finas que 63 µm en el agregado.

La Norma ASTM especifica la cantidad más fina que el tamiz 75 pm (tamiz No. 200), pero el tamiz de esa designación, según las normas internacionales de la ISO, ya no existe.

El porcentaje tolerable de los finos menores que 63 µm para arena es del 2% m/m y para ripio del 1% m/m. La abreviatura m/m significa masa por masa. Se debe hacer una observación especial sobre la influencia del limo en el comportamiento del cemento (tipos de cemento en Ecuador).

La muestra debe ser representativa del total del lote y cuando existe duda se debe tomar una muestra más grande o hacer varios ensayos. La muestra debe secarse hasta obtener masa constante y determinarse su masa con precisión del 0,1%.

Toda la muestra seca se pone en un recipiente con agua (probeta de vidrio u otro) y se debe añadir un poco de jabón líquido. Se agita fuertemente el recipiente para asegurar la separación de las partículas finas de las partículas gruesas.

Se vierte después el contenido del recipiente sobre un juego de tamices 8 mm, 1 mm y 63 µm dispuestos en orden decreciente de abertura.

Se lava la muestra que queda en el juego de tamices hasta cuando el agua de lavado esté y quede clara. Este lavado se hace de preferencia encima de un lavabo de porcelana blanco. Una vez que la muestra está limpia, se seca nuevamente hasta obtener masa constante y se deja enfriar antes de medir la masa con exactitud del 0,1%. El porcentaje de partículas más finas que 63µm se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$p = \frac{S - B}{A} x\, 100$$

Donde

A = masa de la muestra seca inicial,
B = masa de la muestra lavada y secada según descripción anterior.

Ejemplo:

Para el ensayo tenemos una muestra de arena con masa seca de 1 005 g (Valor A).

Después de lavada y secada queda con 997 g (Valor B).

El contenido de limo es:

$$\frac{1005 - 997}{1005} x\, 100 = 0,8\%$$

Cuando el porcentaje obtenido es más alto que el 3%, debe desecharse el agregado o lavar todo el lote de agregados que se quiere utilizar con fines estructurales y controlar nuevamente el contenido de limo para verificar si cumple con los requisitos mínimos. Con relación a la norma ASTM este porcentaje es también del 3%, pero con el tamiz de 75µm, lo que significa menos fino y, por consiguiente, un poco más exigente.

2.8.2 *Contenido de impurezas orgánicas de la arena.* En el ensayo se utiliza una probeta o frasco de vidrio claro mínimo de 200 ml. En esta probeta se ponen 130 ml de la muestra y después se llena la probeta hasta 200 ml con 3% NaOH (solución al 3% de hidróxido de sodio). Se tapa la probeta y se la agita fuertemente, dejándola reposar durante 24 horas.

El color del líquido sobre la arena es determinante para establecer la cantidad de impurezas orgánicas.

Se puede obtener una indicación global y rápida después de una hora, cuando el líquido está suficientemente claro.

Un líquido sin color indica arena pura.

Un alto contenido de impurezas orgánicas se identifica por una coloración que va desde amarillo ligero, amarillo oscuro, marrón ligero hasta marrón oscuro.

Generalmente se puede decir que, cuando el color llega a ser marrón, el contenido de impurezas orgánicas es excesivo y deben analizarse los agregados con más atención o desecharlos para fines estructurales, cuando no se pueden hacer los análisis adicionales.

2.8.2.1 En varios países se puede conseguir los colores estándar de comparación. Gardner números 5, 8, 11, 14 y 16, respectivamente, desde amarillo hasta marrón. La solución no puede ser más oscura que el patrón Gardner No. 11.

El uso de estos colores patrones estandarizados y los instrumentos adicionales a éstos son satisfactorios.

Se puede producir también un color estándar de comparación según uno de los métodos indicados en los siguientes párrafos, utilizando los mismos tipos de probetas que aquella de la muestra.

2.8.2.2 Disolver 0,25 g de Bicromato de Potasio ($K_2\ Cr_2\ O_7$) en 100 ml de ácido sulfúrico concentrado $H_2\ SO_4$ (95,6%).

Esta solución no debe tener más de 2 horas de preparada para obtener, el color patrón Gardner No. 11.

Para alcanzar todos los colores estándar por medio del Bicromato de Potasio se debe mezclar las siguientes cantidades con 100 ml de ácido sulfúrico concentrado.

Colores Gardner Patrón No.	5	8	11	14	16
Bicromato de Potasio en g	0,0205	0,0515	0,25	0,763	1,28

2.8.2.3 Solución de 1 g de bicloruro de cobalto hexahidratado 2C o C16H_2O con 9 g de cloruro férrico hexahidratado Fe $Cl_3 6H_2O$ en 100 ml de agua pura en la que se agregan 35 ml de ácido clorhídrico (HCL) 40% concentrado.

Esta solución debe sacudirse fuertemente y dejarla en reposo durante 24 horas, y tiene el color Gardner patrón No. 11, que es un poco más confiable que el color producido con la solución preparada según la Sección 2.8.2.2.

2.8.2.4 Los colores patrones se pueden también obtener mediante las siguientes mezclas.

Colores Gardner patrones No.	5	8	11	14	16
Mcl 40% concentrado Cloroplatinato de potasio	1 000 ml 3,035 g	1 000 ml 7,9 g			
Mcl 40% concentrado Solución de cloruro férrico Solución de cloruro de cobalto			87,2 ml 7,5 ml 5,3 ml	64,5 ml 22,2 ml 13,3 ml	39,4 ml 37,8 ml 22,8 ml
Cantidad de solución de la mezcla.	1 000 ml	1 000 ml	100 ml	100 ml	100 ml

Para todas las probetas con colores estándar se deben utilizar los mismos tipos de probetas o frascos de vidrio claro que se han utilizado para la muestra de agregados con la solución de NaOH.

2.8.2.5 La indicación obtenida del ensayo del contenido de impurezas orgánicas, como se indica anteriormente, sólo tiene valor cuando se determina que no hay un contenido perjudicial de impurezas orgánicas. Cuando existe una demasiada coloración del líquido del ensayo, se debe hacer un análisis adicional para determinar si las impurezas orgánicas existen en dos componentes:

a) ácido húmico - no afecta al cemento,

b) ácido fúlvico (fulveno) - sí afecta al cemento.

Cuando según el ensayo anterior aparece un color oscuro debido al ácido húmico, la resistencia del hormigón hecho con esta arena no disminuye, mientras que cuando hay pequeñas cantidades de ácido fúlvico en los agregados puede afectar seriamente el fraguado y la resistencia.

Anteriormente se considera la imposibilidad de hacer hormigón o arenas estabilizadas, a base de arenas con gran contenido de impurezas orgánicas, pero se determina que esto no es posible únicamente cuando hay un contenido de ácido fúlvico en estos suelos.

El ensayo siguiente, elaborado por el ENCI (EERSTE NEDERLANDSE CEMENT INDUSTRIE), vale no solamente para determinar las impurezas orgánicas nocivas para el hormigón, sino también para tierras estabilizadas, y puede reemplazar totalmente a los ensayos anteriores.

2.8.2.6 Ensayo del ácido fúlvico para determinar rápidamente las impurezas orgánicas nocivas para el hormigón y la capacidad de estabilizar tierras con cemento.

- El ensayo se ejecuta a una temperatura ambiental de 20°C ± 3°C.

- Los suelos que tienen un contenido de humedad de 10% o menos no necesitan ser secados. Cuando los suelos tienen un contenido de humedad mayor, se deben secar en un ambiente con una temperatura máxima de 40°C.

- La presencia de iones Hierro III da una coloración distinta a la solución, para compararse con los colores estándar, razón por la cual, para evitar la influencia de dichos iones, se debe añadir cloruro estánnico.

- Si después de haber añadido cloruro estánnico aparece un material gelatinoso, hay presencia de sulfatos y es necesario tomar una nueva solución y hervirla durante 5 minutos antes de añadir el cloruro estánnico.
- Para la preparación del cloruro estánnico se deben disolver 22,5 g de $S_nCl_2.2H_2O$ en 1 000 ml de 0,5 N ácido clorhídrico. Esta solución únicamente puede utilizarse hasta dentro de un mes, como máximo.

2.8.2.7 *Procedimiento de ensayo de ácido fúlvico.*

a) Se pesan 100 g de arena en un frasco de 300 ml y se añaden 150 mide solución 0,5 N ácido clorhídrico.

b) Se deja el frasco en reposo por lo menos 4 horas agitándole regularmente.

c) Se filtran 75 ml de la solución clara y se añaden 10 ml de cloruro estánnico claro.

d) Se deja esta nueva solución en reposo por 1 hora.

e) Se añade al contenido (85 ml) la solución de 0,5 N ácido clorhídrico hasta 100 ml total y se agita el frasco.

f) Determinar la posibilidad de estabilización de tierras o uso en hormigón, por medio de comparación de la coloración de la solución con los colores estándar. Para esta comparación se debe verter la solución en una probeta de 100 ml y con un diámetro de 40 ml.

Las muestras de colores estándar se obtienen de la NCI (NEDERLANDSE CEMENT INDUSTRIE). Postbus 10 Amsterdam 1 000 Países Bajos, previo el pago irrembolsable de US $ 6,00 *y* mencionando *Fulvic Acid Test* (by Airmail). Cuando se compara con los colores estándar, se aplica las siguientes clasificaciones.

Color correspondiente a las muestras de color de NCI	**Capacidad de estabilización**	**Utilizable para agregados de hormigón**	
		Resistencia 3 días	**Resistencia 28 días**
A	buena	no influye	no influye
B	buena	no influye	no influye
C	buena - más o menos	reducción ligera	no influye
D	más o menos	reducción moderada	no influye
E	insuficiente	reducción fuerte	reducción ligera
F	mala	reducción fuerte	reducción moderada
G	muy mala	reducción muy fuerte	reducción fuerte

En caso de tener los resultados C y D, se puede añadir más cemento portland de granulometría fina para obtener las resistencias originales según las situaciones A y B.

NOTA: Más información sobre este análisis se puede obtener a la misma dirección del NCI; Artículo *A rapid method for the determination of the aptitude for stabilization of soild with cement.* By J. G. M. Jong, S. J. P. Brouns, N. V. ENCI.

2.8.3 *Contenido de cloruros.* En regiones de la costa, utilizar arena de playa es un error común, porque esta arena tiene grandes cantidades de cloruros que reaccionan con el agua de la mezcla del hormigón.

El uso de esta arena implica, no solamente una rebaja considerable de la resistencia del hormigón, sino también un deterioro rápido del hormigón y la corrosión de las varillas de acero de refuerzo.

Generalmente se puede decir que las arenas recogidas bajo la línea más alta de las mareas y en los esteros junto al mar no son aptas para el uso en hormigones.

El ensayo más sencillo es saborear un poco de la muestra del agregado y, cuando hay un sabor bastante salino, los porcentajes de cloruro siempre son mayores que el tolerable.

El contenido máximo de cloruros solubles en agua para agregados es el siguiente:

- Arena para hormigón armado común 0,1%

- Agregados gruesos para hormigón armado común 0,05%

- Arena para hormigón prensado 0,05%

- Agregados gruesos para hormigón pretensado 0,007%

Estos porcentajes son para la masa seca de los agregados.

Para determinar el contenido de cloruros se utilizan los siguientes reactivos:

- Solución de nitrato de plata $AgNO_3$. Para obtener esta cantidad se debe disolver 17,0 g $AgNO_3$ en agua y diluir hasta un litro. Esta solución no debe exponerse a la luz, sino que debe mantenerse en un frasco oscuro.
- Acido nítrico diluido por 1:1 (HNO_3) densidad específica de 1,21
- Solución ácido nítrico de 0,01 N

El siguiente ensayo es para arena o agregado grueso. Se utiliza un frasco de 2 litros. La muestra de ensayo debe constar del material que pasa el tamiz 4 mm y debe tener una masa de 300 g del agregado seco.

Introducir estos 300 g en un frasco o probeta, añadir exactamente 750 cm^3 de agua destilada y agitarlo, después de lo cual se deja en reposo durante 12-18 horas, para que los cloruros se disuelvan en el agua.

Preparar un embudo con papel filtro No. 42 (Whatman o equivalente). Filtrar el contenido del frasco por un embudo con papel filtro y recogerlo en otro frasco que esté completamente seco.

El líquido así obtenido puede servir para determinar el contenido de cloruro, calcio y magnesio.

Para determinar el contenido de cloruro se hacen las siguientes operaciones:

a) En un matraz de vidrio de 250 a 300 cm^3 se coloca una alícuota de 50 hasta 100 cm^3 de la solución preparada y filtrada anteriormente. Esta cantidad en gramos es el Valor B.

b) Se controla si esta dilución tiene un Ph entre 1 y 7. Cuando tiene un Ph mayor que 7, es decir que es alcalina, se debe pipetar gota por gota la solución HNO_3 0,01 N, hasta que sea neutra o ácida.

c) Se añade 1 cm^3 de ácido nítrico 1:1 y se realizan los siguientes pasos en un lugar oscuro.

d) Se añade gota por gota la solución de nitrato de plata 0,1 N hasta que deje de producirse el precipitado de cloruro de plata (AgGI). Después se calienta el matraz hasta una temperatura cercana al punto de ebullición y se agita para facilitar la colocación del precipitado. Tapar el matraz y dejarlo enfriar en un lugar oscuro por un lapso de una o dos horas.

e) Preparar un Crisol de Gooch, filtro con filtro adicional de asbesto que ha sido previamente secado al horno y pesado en la balanza analítica. Se anota el peso exacto (Valor E).

f) Filtrar la solución por el Crisol de Gooch previamente preparado y lavar el matraz con la parte del precipitado de cloruro de plata que queda, dos o tres veces, con solución de ácido nítrico 0,01 N y filtrarla cada vez a través del Crisol de Gooch.

g) Secar el Crisol de Gooch con el precipitado en el horno, hasta obtener masa constante y determinar su nuevo peso (Valor G). El peso del precipitado es entonces G - E = A g.

El contenido de cloruros en porcentaje P se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$P = \frac{A\,x\,0{,}24737}{B}\,x\,100$$

Para determinar los contenidos de calcio, cloruros alcalinos, magnesio y sulfatos, se deben consultar las respectivas normas, ya que no están considerados como análisis básicos para este documento, así como aun laboratorio especializado para determinar los porcentajes, cuando existe duda sobre su presencia. Los sulfatos aparecen en rocas volcánicas antiguas, como las que existen en el sur del Ecuador, que causan una desintegración lenta del hormigón.

2.8.4 *Contenido de carbonato de calcio.* En arenas y otros sedimentos del mar pueden haber grandes porcentajes de carbonato de calcio. Los análisis también debe hacerlos un laboratorio especializado.

Para arenas, el porcentaje máximo de carbonato de calcio es el 25% del peso seco y para agregados gruesos este porcentaje es del 10%

En muchos casos se puede obtener una indicación razonable por inspección visual, porque el carbonato de calcio consiste en partículas de conchas.

CAPITULO 3.

ADITIVOS

3.1 Introducción

Se entiende por aditivos los materiales que se añaden al mortero o al hormigón para obtener características especiales del mortero o del hormigón al fraguar.

Entre otros, se tienen los siguientes aditivos:

- plastificadores
- incorporadores de aire
- acelerantes
- retardadores
- colorantes
- impermeabilizantes
- aditivos muy finos.

Aunque generalmente las cantidades de estos aditivos son pequeñas con relación a la cantidad del mortero o de hormigón, estos aditivos pueden influir definitivamente en las características del mortero o del hormigón.

Por esta razón, es importante que se deba trabajar minuciosamente para lograr el efecto requerido. Aplicaciones mal hechas pueden dar lugar a grandes problemas, debiendo observarse cuidadosamente los siguientes puntos:

a) ¿cumple el aditivo con las especificaciones?

b) ¿el almacenaje del aditivo es correcto?

c) ¿se conoce el funcionamiento y la reacción con los otros materiales, como el tipo de cemento, etc.?

d) ¿hay alguna contaminación?

e) ¿se conoce la dosificación exacta para obtener el efecto requerido en las circunstancias dadas, por ejemplo, temperatura, etc.?

Los análisis químicos de los aditivos generalmente son muy específicos y deben ser ejecutados por laboratorios especializados, en caso de duda de sus calidades.

En este capítulo se trata únicamente de algunos ensayos sencillos para el control de los aditivos.

Algunos de estos ensayos tienen por objeto determinar el tipo de aditivo o indicar si el aditivo no esta pasado o diluido.

Otros ensayos, como los ensayos para la aptitud, tienen por objeto determinar el funcionamiento y su reacción con el mortero o el hormigón.

3.2 Determinación de la densidad de aditivos líquidos. La determinación de la densidad es sencilla para un aditivo líquido. Cuando se recibe el aditivo, se puede controlar la densidad con los datos dados por el fabricante. Cuando no hay conformidad, puede significar que el aditivo está descompuesto o diluido.

De todos modos, es importante verificar la razón por la que la densidad determinada es diferente antes de aplicar el aditivo. Aun cuando la densidad esté conforme, existen varios aditivos con el mismo valor de densidad, por lo cual no hay seguridad de su autenticidad, ya que puede tratarse de algún otro material.

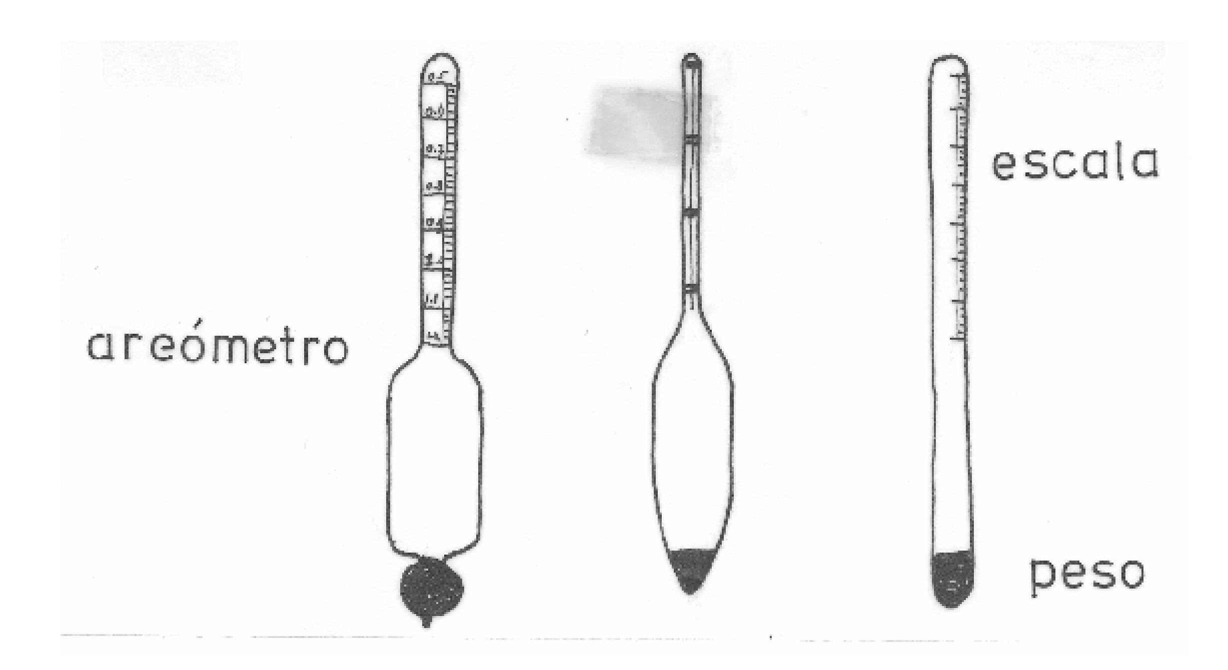
La determinación de la densidad también se utiliza para analizar la influencia de un almacenaje muy prolongado o bajo circunstancias desventajosas.

Puede ocurrir una descomposición y ésta producir diferencias en las unidades de capas distintas.

El almacenaje bajo altas temperaturas puede provocar una evaporación de los componentes volátiles y, en este caso, la densidad es más alta. La densidad se determina con un aerómetro, que consta de un cuerpo y de una prolongación con una escala.

Mientras más ligero es el líquido, más profundamente se hunde este aparato. En la escala de la prolongación se encuentran valores volumétricos que aumentan desde arriba hacia abajo. Se registra el valor a la superficie del líquido.

Los aerómetros están normalizados a una temperatura específica, generalmente a 20°C, y es importante que la muestra tenga la misma temperatura para la cual el aerómetro está graduado.



3.3 Determinación del color y olor. Para saber si un aditivo específico está en buen estado, se constata a veces a través de su color y eventualmente por su olor. Aunque no se pueden dar reglas para este método, el mismo puede ser indicativo, cuando se usa muchas veces el mismo aditivo o se tiene experiencia previa. Un color diferente o talvez la ausencia de olor (por efecto de la pérdida de elementos volátiles) puede ser indicativo de que se debe analizar más profundamente el aditivo.

3.4 Control de la situación y **tiempo del almacenaje.** Varios aditivos pierden su calidad cuando están expuestos a temperaturas altas o bajas. El proveedor de los materiales debe indicar, en este caso, por cuánto tiempo y bajo qué circunstancias los materiales pueden almacenarse sin peligro de deterioro.

Es parte del trabajo del laboratorista controlar si los aditivos están almacenados según prescripciones del proveedor.

Se debe verificar si los aditivos en polvo tienen aspectos higroscópicos, es decir, si estos materiales pueden atraer la humedad del aire. Estos materiales deben almacenarse en un cuarto seco. También los materiales que no son resistentes a las temperaturas altas deben guardarse en lugares frescos.

El laboratorista debe controlar que el tiempo máximo de almacenaje no pueda sobrepasar. Por esta razón, se debe consumir primeramente la provisión existente antes de un nuevo abastecimiento.

3.5 Ensayos de aptitud. Con los ensayos de aptitud se determina si se puede llegar a los requisitos del hormigón o mortero con la composición utilizada, antes de su aplicación definitiva.

Generalmente estos ensayos de aptitud se hacen a nivel de laboratorio. A veces es posible determinar en forma práctica la calidad del hormigón con características especiales. Para hacer esto, se puede ejecutar una parte de la construcción con las mezclas específicas para la calidad especial, así como ensayos, siempre con la condición que para esta parte de la construcción no haya grandes exigencias.

Los siguientes ensayos sirven para determinar los aspectos generales y las características secundarias de los aditivos dentro del mortero de hormigón.

3.5.1 *Contenido de aire con aplicación de un incorporador de aire.* Cuando se quiere aplicar una incorporación de aire en una mezcla de hormigón y cuando se tiene experiencia, deben hacerse ensayos de aptitud. Esto puede ocurrir si se cambia el tipo de cemento o si existe un cambio notable de la granulometría.

Especialmente el contenido de partículas finas puede tener gran influencia sobre la dosificación necesaria para obtener el contenido de aire requerido.

En el laboratorio y en la obra se prepara el mortero u hormigón normal; uno de estos con dosificación según especificaciones del incorporador de aire.

Para ambas mezclas, se determina el contenido de aire según la Sección 5.7. La diferencia de estos valores es la cantidad de aire incorporada por efecto del aditivo. Después se puede hacer una o más mezclas de ensayo con dosificaciones diferentes del aditivo, hasta que se obtenga el resultado requerido.

3.5.2 *Tiempos de retardo por uso de retardadores. Los* aditivos que retardan el fraguado del hormigón fresco se pueden utilizar con varios fines. Cuando se realizan los ensayos de aptitud con estos aditivos, es importante mantener la temperatura del mortero a un nivel de acuerdo al nivel natural. Los efectos de los aditivos retardadores dependen de la temperatura del mortero.

El comienzo exacto del efecto del aditivo es difícil de medir y generalmente se utilizan métodos aproximados.

Cuando el laboratorio tiene un registro de temperatura con electrodos, se puede seguir el desarrollo de la temperatura. Este generalmente consta de diferencias de temperatura pequeñas, que a su vez son difíciles de registrar.

Cuando se hace un aislamiento térmico alrededor de la muestra, el calor generado por el proceso de fraguado hace aumentar la temperatura y permite un fácil registro.

La desventaja de esta temperatura consiste en que no es igual a la temperatura real, de ahí que no se tratará más de la medida de la temperatura de fraguado, porque este método no es realizable en laboratorios sencillos. Una imitación de lo que se hace en la práctica, por lo generales suficientemente adecuado.

Se hace primero una mezcla de ensayo con una dosificación determinada del aditivo retardante, según se estime necesario, y se la funde en 5 cubos plásticos; luego se tapan con unos plásticos para evitar la evaporación.

Un poco antes del instante en que se espera el comienzo del fraguado se hace el primer ensayo en el primer cubo. Este ensayo puede consistir en sumergir un vibrador en el hormigón y retirarlo. Cuando el vibrador no deja un hueco en el hormigón, el fraguado no ha empezado.

Este ensayo se repite después de una hora con el segundo cubo, continuando los ensayos a intervalos de una hora con los cubos siguientes, hasta que no confluya el hormigón.

El tiempo de inicio del fraguado se puede aproximar con exactitud de 1/2 hora.

Una variante de este método consiste en verificar la deformación del hormigón después que se somete a deformación el cubo o recipiente de plástico. En este caso, se observa si el hormigón se adapta o no, cada vez, a la forma del recipiente.

Cada hora se hace esta prueba con un nuevo cubo, hasta que se observe que el hormigón no regresa a su posición original y así se puede determinar la hora en la que empezó el fraguado.

Como elemento de comparación, se puede preparar al mismo tiempo una mezcla del mismo mortero de hormigón sin aditivo, para calcular el efecto del retardador.

3.5.3 *Influencia de los plastifícadores.* Se pueden aplicar los plastificadores según dos métodos:

a) se añade el plastificador al mortero fresco del hormigón para aumentar la plasticidad;

b) se reemplaza parte del agua por un plastificador para que el hormigón tenga la misma plasticidad con un factor agua-cemento menor.

Para ambas situaciones, se indican los análisis de aptitud en el texto siguiente.

3.5.3.1 *Efecto del plastificador.* Se prepara un mortero u hormigón según las especificaciones (granulometría-calidad de cemento y relación agua-cemento).

Para este mortero de ensayo, se mide la consistencia por medio del análisis del cono de Abrams, el valor de compactación y el valor de la mesa de sacudidas (ver las secciones 5.2, 5.3, 5.4).

De estos tres análisis, el de la mesa de sacudidas da la mejor indicación para la plasticidad.

Después del análisis de la consistencia, se devuelve el material de la muestra al mezclador y durante el proceso de mezcla se añade la cantidad de plastificador que se considera necesaria.

Después de haber mezclado con el plastificador, se mide nuevamente la consistencia con los mismos métodos.

A base de la diferencia de los datos así conseguidos se obtiene una indicación del efecto del plastificador.

Con estos datos se puede preparar una nueva mezcla con una cantidad de plastificador adaptada. Los resultados del segundo ensayo se deben comprobar con los 2 anteriores. Este proceso se repite hasta que se obtiene la mezcla requerida.

3.5.3.2 *Reductores de agua.* Se prepara un mortero de cemento sin aditivo plastificador de una consistencia requerida, se anota la cantidad de agua y se mide su consistencia.

Después se prepara otra mezcla con menos agua, añadiendo el plastificador hasta que se tenga la misma trabajabilidad y consistencia que la otra mezcla. A base de la diferencia de la cantidad del agua se tiene una impresión de la influencia que tiene el plastificador con respecto a la reducción del agua.

A veces es necesario hacer varias pruebas con diferentes cantidades de agua antes de obtener la combinación agua-plasticidad requerida. El método adoptado para medir la trabajabilidad puede tener influencia sobre los resultados.

CAPITULO 4.

COMPOSICION DEL HORMIGON

4.1 Tipos de hormigones. Los hormigones utilizados para estructuras deben tener una resistencia mínima de 21 N/mm^2 (210 kg/cm^2) a los 28 días.

Las partes de hormigón que no tienen función estructural pueden tener resistencias de 12,5 N/mm^2 (125 kg/cm^2)' o de 18 N/mm^2 (180 kg/cm^2). Dependiendo de la amplitud de desviación de los valores de la resistencia del hormigón, la probeta debe tener una resistencia mínima mayor, según la siguiente tabla:

Amplitud de desviación de valores de la resistencia del hormigón (tomada en las probetas)	**La resistencia promedio del hormigón debe exceder del valor f'_c requerido (para probetas)**	
	Cilíndricos 15 x 30 cm	**Cubos 15 cm**
hasta 2 N/mm^2 (20 kg/cm^2)	3 N/mm^2 (30 kg/cm^2)	5 N/mm^2
2 hasta 3 N/mm^2 (30 kg/cm^2)	4 N/mm^2 (40 kg/cm^2)	5,5 N/mm^2
3 hasta 3,5 N/mm^2 (35 kg/cm^2)	5 N/mm^2 (50 kg/cm^2)	6 N/mm^2
3,5 hasta 4 N/mm^2 (40 kg/cm^2)	6,5 N/mm^2 (65 kg/cm^2)	7,5 N/mm^2
más de 4 N/mm^2 (40 kg/cm^2)	10 N/mm^2 (100 kg/cm^2)	10 N/mm^2

Suponiendo que la amplitud de desviación de valores de la resistencia de un hormigón es de 3 hasta 3,5 N/mm^2 (35 kg/cm ^{2}), las resistencias promedio de las probetas serían las indicadas en la siguiente tabla.

La diferencia entre las resistencias requeridas para cilindros de 15 x 30 cm y de los cubos de 15 cm se debe a la mayor resistencia del cubo.

Calidad de Hormigón Resistencia de diseño f'_c		**Resistencia mínima promedio de probetas**	
		2 probetas cilíndricas 150 x 300 mm	**3 probetas cubos 150 mm**
12,5 N/mm^2	(125 kg/cm^2)	≥ 17,5 N/mm^2	≥ 18,5 N/mm^2
17,5 N/mm^2	(175 kg/cm^2)	≥ 22,5 N/mm^2	≥ 23,5 N/mm^2
21 N/mm^2	(210 kg/cm^2)	≥ 26 N/mm^2	≥ 27 N/mm^2
24,5 N/mm^2	(245 kg/cm^2)	≥ 29,5 N/mm^2	≥ 30,5 N/mm^2
28 N/mm^2	(280 kg/cm^2)	≥ 33 N/mm^2	≥ 34 N/mm^2
31,5 N/mm^2	(315 kg/cm^2)	≥ 36,5 N/mm^2	≥ 37,5 N/mm^2
35 N/mm^2	(350 kg/cm^2)	≥ 40 N/mm^2	≥ 41 N/mm^2
40 N/mm^2	(400 kg/cm^2)	≥ 45 N/mm^2	≥ 46 N/mm^2
45 N/mm^2	(450 kg/cm^2)	≥ 50 N/mm^2	≥ 51 N/mm^2
52,5 N/mm^2	(525 kg/cm^2)	≥ 57,5 N/mm^2	≥ 58,5 N/mm^2
60 N/mm^2	(600 kg/cm^2)	≥ 65 N/mm^2	≥ 66 N/mm^2

En el Capítulo 6 se tratará de la evaluación de los datos obtenidos de los ensayos para verificar la calidad del hormigón.

4.2 Cálculo de la mezcla. Para hacer el cálculo de la mezcla se deben conocer los requisitos mínimos según las especificaciones del Código Ecuatoriano de la Construcción, en el que se determina que la relación agua-cemento no debe exceder en peso de 0,53 y que el hormigón para elementos estructurales debe tener una resistencia f'_c, por lo menos de 21 N/mm^2 (210 kg/cm^2).

No se especifica con qué tipo de cemento o con qué cantidad de cemento o cuáles agregados o granulometría se lograrán los requisitos de diseño; pero, a base de la experiencia obtenida, se pueden hacer las siguientes recomendaciones:

a) el hormigón no puede tener un asentamiento mayor de 120 mm (Cono de Abrams), y cuando se usen plastificadores, mayor de 160 mm

b) el hormigón no puede tener menos de 280 kg de cemento por m^3 (12,5 N/mm^2 resistencia);

c) los agregados gruesos acumulados deben pasar el tamiz de 65 mm y el residuo que queda sobre el tamiz de 31,5 mm no puede exceder del 1% en peso.

En algunas situaciones, pueden utilizarse los superplastificadores, que pueden producir un asentamiento mayor de los 160 mm mencionados, pero éste únicamente debe aplicarse en coordinación con el inspector de la obra y después de suficientes ensayos de laboratorio. La cantidad mínima del cemento está determinada por dos condiciones.

a) que el hormigón obtenga una resistencia mínima requerida de 21 N/mm^2, y

b) que el acero de refuerzo esté suficientemente protegido.

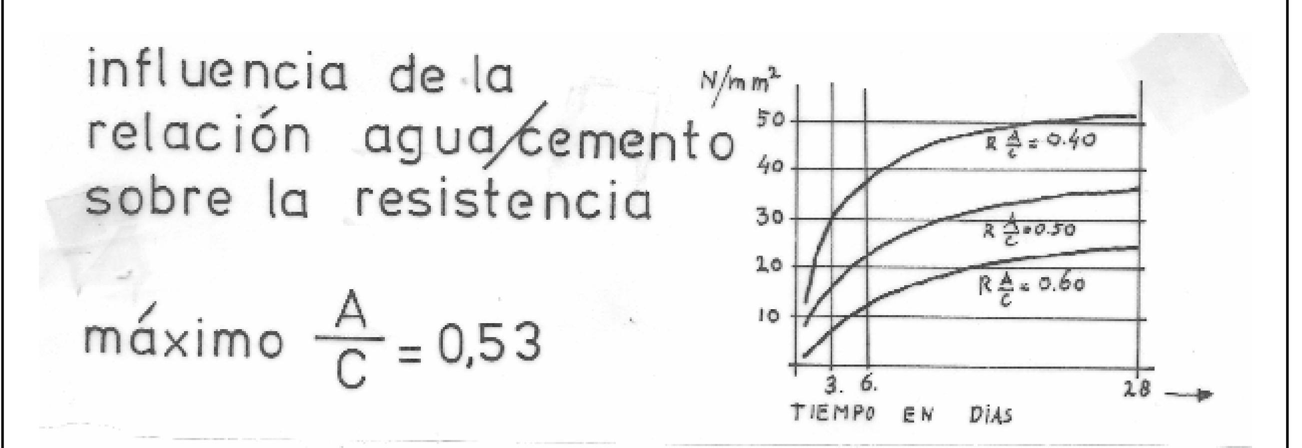
Con mezclas para hormigón común y con cemento común, alrededor de 350 kg/cm^3 de cemento en la mezcla no garantiza la resistencia mínima, la que siempre debe comprobarse con pruebas específicas. Además, cabe mencionar que el riesgo de la corrosión del refuerzo depende más de la relación agua/cemento que de la cantidad de cemento.

Con excepción de construcciones muy especiales, la cantidad de agregados con tamaño mayor de 31,5 mm no puede exceder del 1% de los agregados gruesos. Algunas piedras de 5 cm de tamaño pueden originar vacíos u oquedades en la construcción.

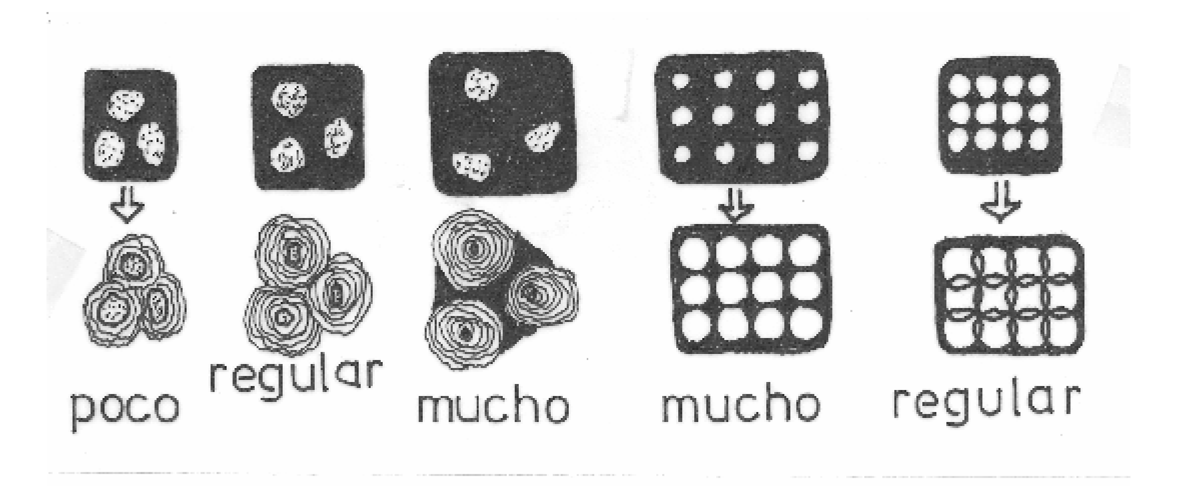
4.3 La consistencia del hormigón debe adaptarse al método de mezcla, transporte y compactación. Puede considerarse 4 categorías principales de consistencia.

Categoría	**Consistencia**	**Compactación (coeficiente)**	**Asentamiento (mm)**
1	medio seco	1,50 - 1,20	-
2	medio plástico	1,20 - 1,10	20 80
3	plástico	-	80 - 120
4	fluido	-	120 - 160

La consistencia es la combinación de cuatro factores, siendo éstos: granulometría, cantidad de agua, cantidad de cemento y relación agua-cemento. Así como la relación agua-cemento es importante para la plasticidad, también tiene mucha influencia sobre la resistencia final del hormigón, como se indica en la siguiente gráfica:



El agua en la mezcla del hormigón es necesaria para su trabajabilidad así como para su fraguado, pero para el proceso químico del fraguado se necesita menor agua que para la trabajabilidad. Se recomienda que la relación agua-cemento por peso debe estar entre 0,30 hasta 0,50 y nunca más de la necesaria para su trabajabilidad. El efecto del exceso de agua se puede ilustrar mediante los siguientes dibujos.

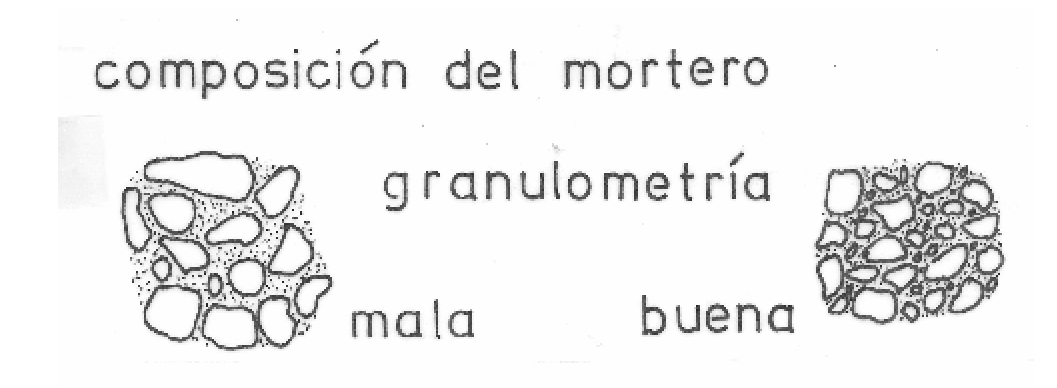


Generalmente no existe un fraguado completo dentro de los 28 días o aun dentro de 100 días, pues queda un núcleo pequeño de cemento no fraguado. Por esta razón ocurre que el fraguado continúa por mucho tiempo más, pero el aumento de la resistencia es poco; consiguientemente, el cemento más fino obtiene mejores resultados más rápidamente que el cemento de partículas relativamente gruesas.

Cuando hay una cantidad de agua regular, los poros en el hormigón son pocos y evitan que el agua se evapore, utilizándola en mejor forma, a la vez que el hormigón necesita menos cuidado o tratamiento durante el proceso de fraguado.

Cuando se pone más agua de la necesaria en el hormigón, al fundirlo, las partículas gruesas bajan y las partículas finas suben (incluyendo el cemento). En las capas superiores del horgón fundido aparece una relación agua-cemento muy superior, y en el fraguado aparecen agrietamientos y pulverización que reducen enormemente la resistencia del elemento.

4.4 Granulometría recomendada. La composición de la granulometría es importante también para calidad definitiva, así como para la consistencia inicial del hormigón.



En base a las experiencias obtenidas, se han establecido los siguientes valores de agregados finos y gruesos para obtener un hormigón de buena calidad, con el menor riesgo de descomposición durante el proceso de fundición, o contracción excesiva durante el fraguado.

La cantidad mínima de finos menores que el tamiz 250 μm es la siguiente, por m^3 de hormigón.

Medida nominal máxima	**< 250 μm**	**%**
8 mm	163 dm^3	16,5 %
16 mm	135 dm^3	13,5 %
31,5 mm	120 dm^3	12

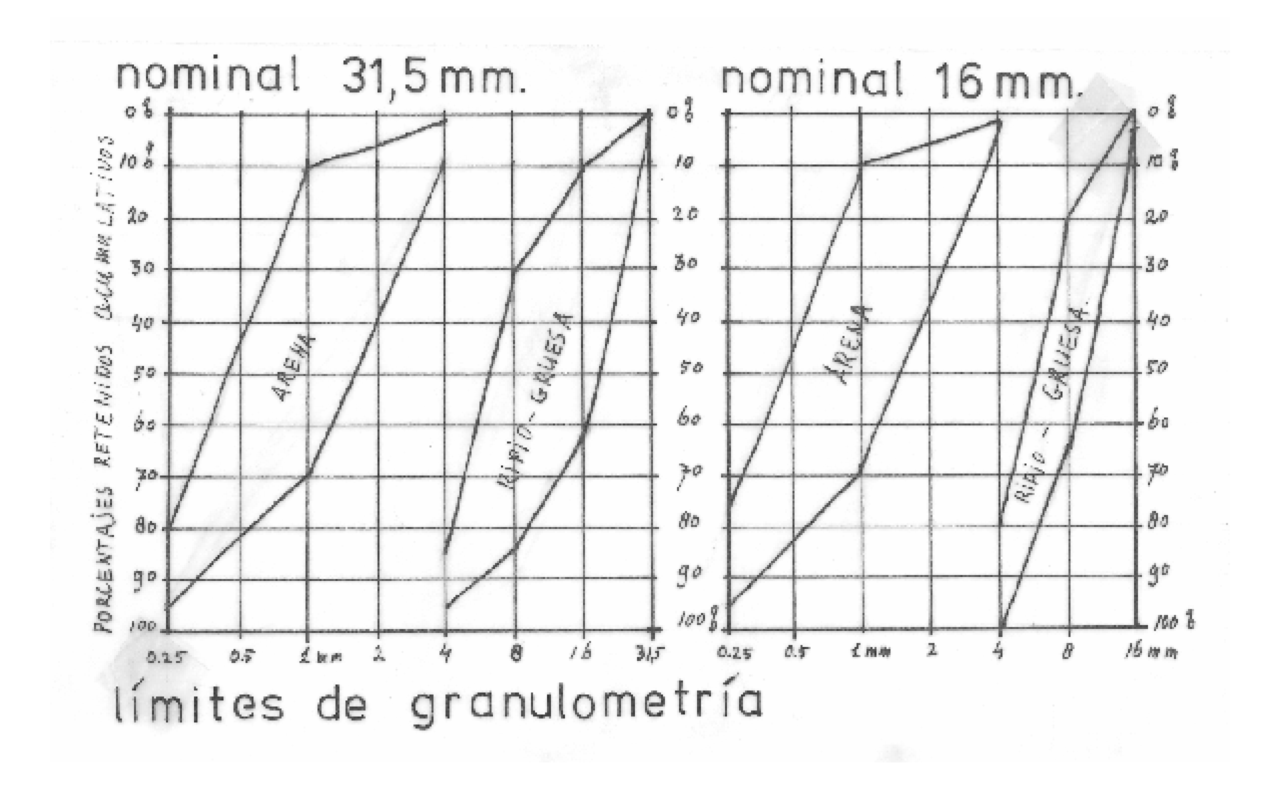
Cuando se utilice un tipo de arena en una mezcla de hormigón de medida nominal de 31,5 mm o 63 mm, la arena debe cumplir con las siguientes especificaciones;

Medida nominal del tamiz (arena)	**Retenidos acumulativos sobre los tamices**	
	Nominal 31,5 mm	**Nominal 16 mm**
4 mm	mínimo 2% máximo 9%	mínimo 2% máximo 40%
1 mm	mínimo 10%máximo 70%	mínimo 10% máximo 70%
250 μm	mínimo 80%máximo 96%	mínimo 75% máximo 95%

Los límites de la granulometría para ripio o agregada grueso se determinan en la siguiente tabla:

Tamaño nominal tamices (ripio)	Retenidos acumulativos sobre los tamices	
	Nominal 31,5 mm	Nominal 16 mm
31,5 mm	máximo 1%	
16 mm	mínimo 10% máximo 62%	máximo 1%
8 mm	mínimo 30% máximo 85%	mínimo 20% máximo 62%
4 mm	mínimo 95%	mínimo 80%

En base de los datos, anteriores, se pueden establecer diagramas para los dos casos de agregados de tamaño nominal 31,5 mm y 16 mm



4.5 Cálculo de mezclas para granulometría. En el cálculo de las mezclas se debe tomar en cuenta el conjunto de la granulometría, incluyendo también las partículas de cemento.

4.5.1 *Método de Fuller.* Según este método, se han diseñado algunas curvas basadas en la granulometría óptima, pero en ésta se ha considerado un porcentaje relativamente bajo del cemento.

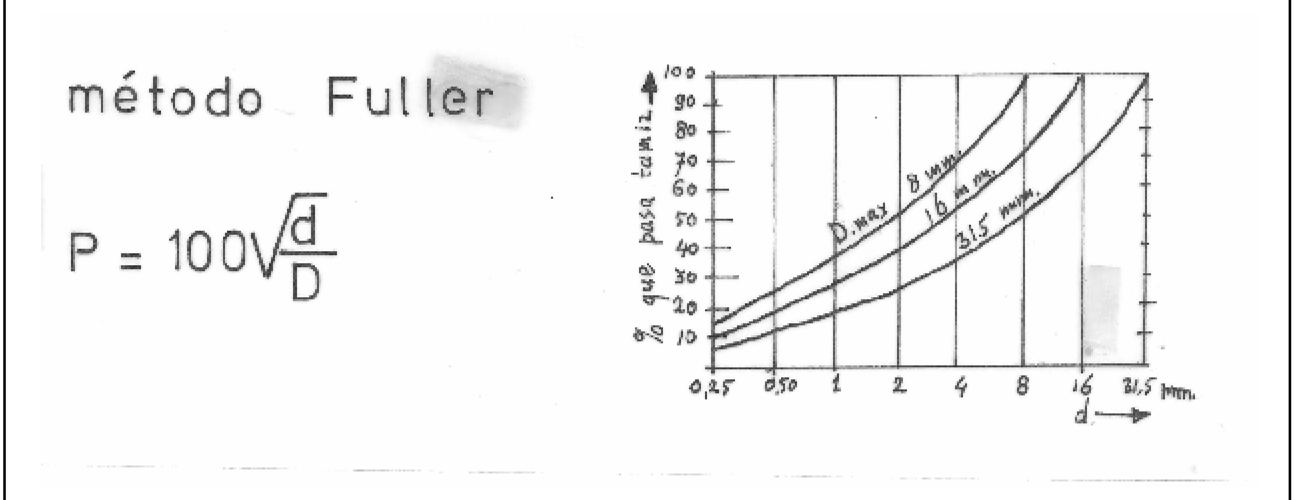
Además se ha establecido la fórmula siguiente:

$$P = \sqrt{\frac{d}{D}} x 100$$

Donde:

P = porcentaje del agregado que pasa el tamiz d.
d = tamaño del tamiz.
D = tamaño nominal por el que pasa todo el agregado.

Una desventaja del método de Fuller es que el diagrama o fórmula no es aplicable para los tamices 125 µm y 250 µm.



La mayoría de los métodos son derivados de éste; como el de Rothfuch que utiliza un diagrama de raíces con gradación mínima de 0,1 mm. A base de la posición de las líneas se puede sacar la conclusión siguiente:

Cuando $D_{máx}$. es más grande, se necesita menos material fino, lo cual implica también menos cantidad de cemento.

4.6 La granulometría tiene influencia sobre la cantidad de cemento necesaria. Una mayor parte de partículas grandes implica menor superficie total de partículas y, por tanto, menos cemento. Contrariamente, muchas partículas pequeñas requieren más cemento.

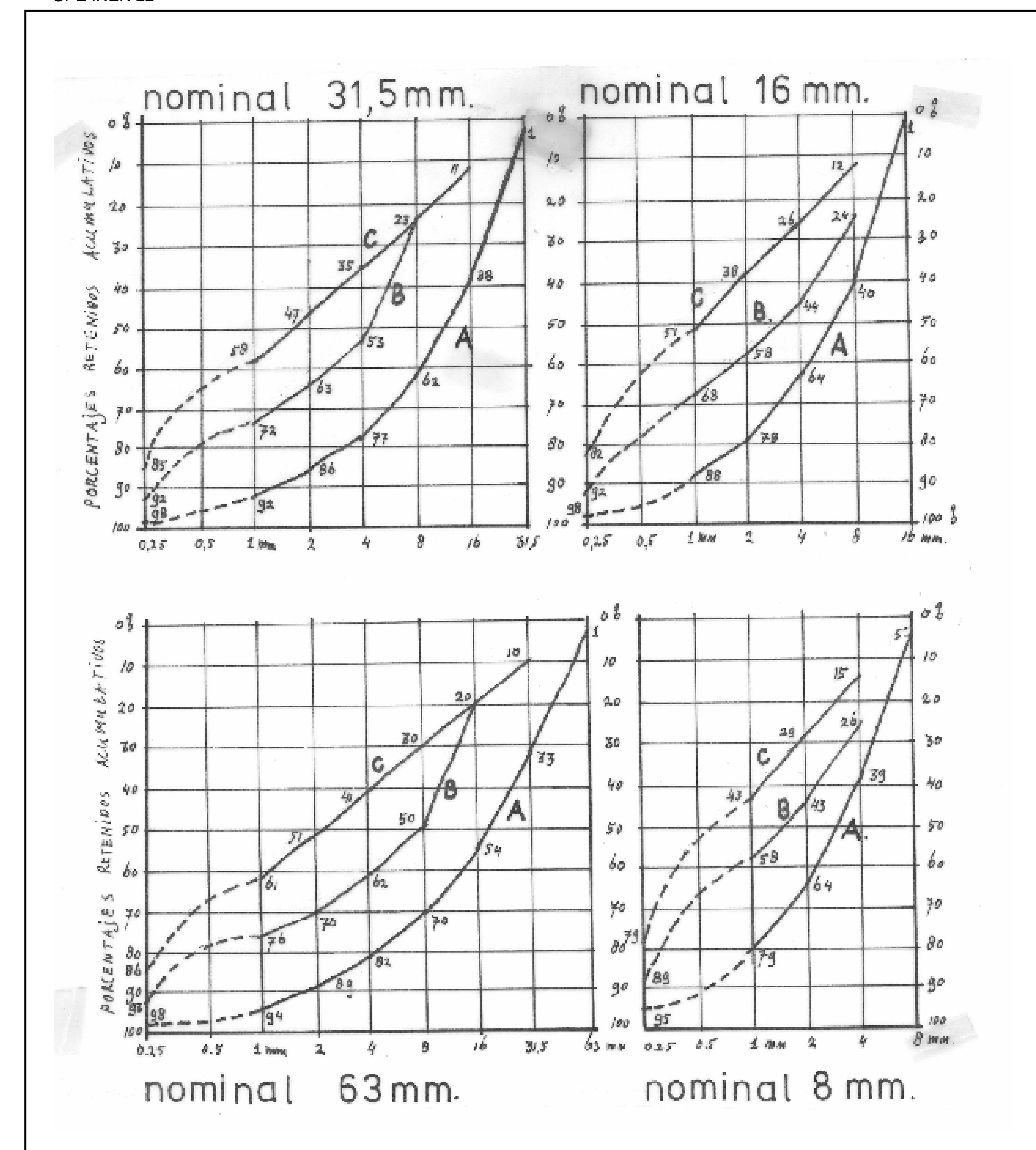
Se pueden utilizar las siguientes aproximaciones, si se toma la cantidad de cemento para un agregado nominal de 31,5 mm, como el 100%

Para agregado nominal de 16 mm debe aumentarse la cantidad de cemento en un 10%.

Para agregado nominal de 8 mm debe aumentarse la cantidad de cemento en un 20%.

Para agregado nominal de 63 mm puede reducirse la cantidad de cemento en un 10%, lo cual puede hacerse únicamente cuando se permite el uso de agregado de tamaño nominal 63 mm, en relación con los espacios entre las varillas o espacios y entre varillas y encofrado.

4.7 En base a los requisitos de granulometría y los efectos de ésta sobre la cantidad de cemento, se pueden establecer líneas de granulometría de una mezcla de finos y gruesos, según los tamaños nominales de agregados.



En base a estos diagramas se determina que la mezcla debe estar dentro de las dos líneas A y C para obtener una mezcla óptima.

Además, se ha establecido que cuando la mezcla está entre las líneas B y C, se necesita 10% más de cemento que cuando la granulometría queda entre las líneas A y B.

Cuando se prepara una mezcla para un hormigón de f'_c = 21, N/mm^2 (210 kg/cm^2), se deben aplicar también diferentes cantidades de cemento, dependiendo del área de consistencia (sección 5.4), y aproximadamente según la tabla siguiente.

Calidad del hormigón	Limitaciones en la granulometría	Cantidad de cemento mínima en kg (por m^3 de hormigón) según áreas de consistencia.		
		1 (medio seco)	2 (medio plástico)	3 (plástico)
21 N/mm^2	Nominal 31,5 mm			
	A y B	300	320	340
	A y C	320	340	360
	B y C	330	350	370
21 N/mm^2	Nominal 16 mm			
	A y B	330	350	370
	A y C	350	370	390
	B y C	360	380	400
21 N/mm^2	Nominal 63 mm			
	A y B	280	290	310
	A y C	290	310	330
	B y C	300	320	340

Se debe anotar que para la calidad de hormigón f'_c = 21 N/mm^2 no se permite la consistencia No. 4 (fluido) y que las cantidades indicadas anteriormente son aproximadas.

Los valores de los gráficos están basados en un agregado de partículas redondeadas, y cuando se trate de un agregado de partículas angulosas, o muy irregulares, se puede aumentar ligeramente la cantidad de agregados finos.

4.8 El cálculo de una mezcla según el método de Rangers - Antionisse. El método RangersAntionisse establece una fórmula con la cual se puede calcular la mezcla ideal de los agregados obtenidos para llegar a un hormigón de una consistencia determinada.

$$P_a = 10.\ F_a + 28 + 0{,}5_s - 0{,}08.\ C$$

Donde:

P_a = porcentaje de arena.
F_a = módulo de finura de la arena (entre 2 y 3.3) tamices normalizados.
28 = valor de compensación.
$0{,}5_s$ = 0,5 x asentamiento en cm (con relación al área de consistencia).
0,08C = 0,08 x contenido de cemento en kg.

Esta fórmula es aplicable para mezclas de arena que son utilizadas con agregado grueso de tamaño nominal 31,5 mm. Es evidente que el porcentaje de arena en una mezcla aumenta cuando la arena tiene un alto módulo de finura. Luego, mientras más gruesa es la arena, más grande es la parte de arena en la mezcla.

También es necesario añadir más arena a la mezcla cuando se aumenta el asentamiento; entonces, mientras más plástico es el hormigón, más arena se necesita.

Con un aumento de porcentaje de cemento, el porcentaje de arena debe disminuir.

El porcentaje de arena calculado así puede corregirse según las siguientes indicaciones:

a) para losas y paredes delgadas (< 15 cm), añadir el 4%;
b) para losas y paredes muy gruesas(> 40 cm), reducir hasta el 4%;
c) para un contenido de aire de 3% hasta 5%, reducir de 2% hasta 4% ó 5%;
d) para refuerzo muy denso, añadir el 4%;
e) para hormigón de bombeo, añadir el 4%

Ejemplo de cálculo.

Si los resultados del análisis granulométrico son los que se indican en el siguiente cuadro:

Tamices	**Retenidos**	**acumulados**
	Arena	**Ripio**
31,5 mm	-	-
16 mm	-	28
8 mm	-	70
4 mm	3	94
2 mm	8	100
1 mm	22	100
500 µm	60	100
250 µm	95	100
125 µm	100	100
F	2.88	6.92

para un asentamiento de 8 cm se toma la cantidad de cemento de 320 kg/m^3 en relación con el tamaño nominal 31,5 mm. Con estos datos y con el módulo de finura 2,88 de la arena, se puede calcular el porcentaje de arena necesario en la mezcla:

$$P_a = 10\ F_a + 28 + 0,55 - 0,08\ C$$

$$P_a = 10 \times 2,88 + 28 + 0,5 \times 8 - 0,08 \times 320 = 35\%$$

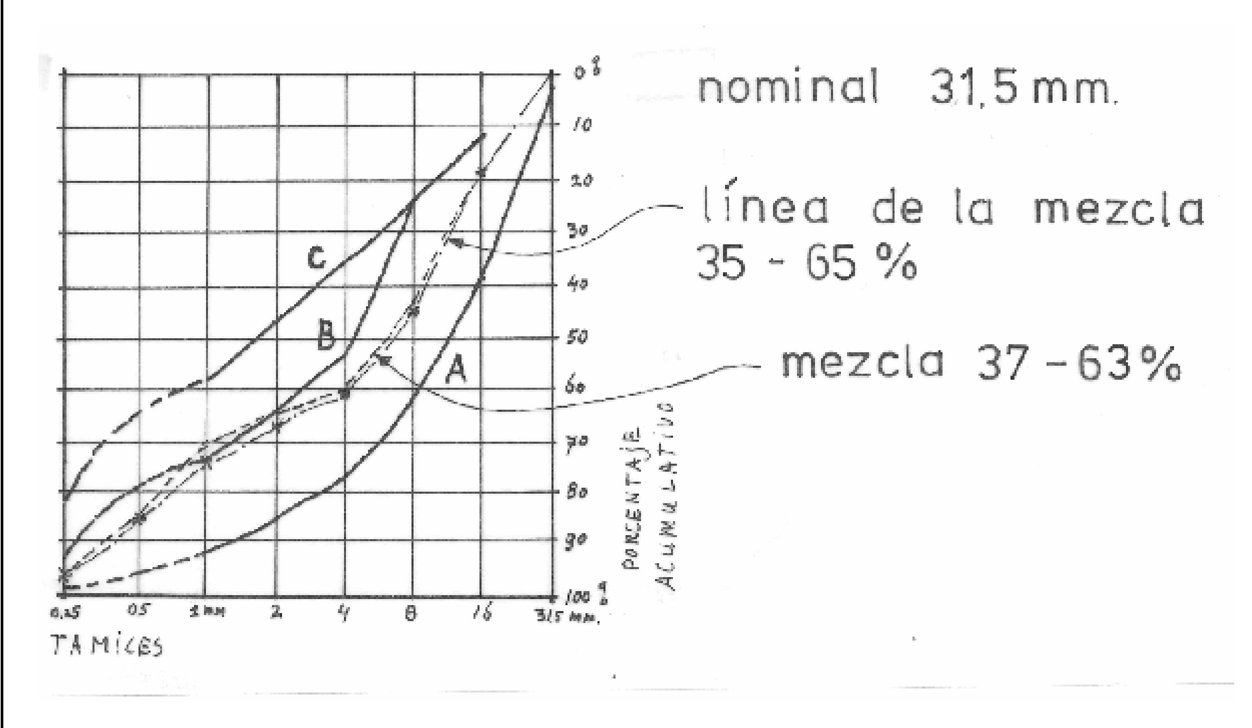
El porcentaje de agregados gruesos es de 65%

Es importante controlar si la granulometría de la mezcla queda dentro de los límites recomendados

Granulometría de la mezcla nominal 31,5 mm

Tamices	Arena	Ripio	Arena 35%	Ripio 65%	Mezcla
31,5	-	-	-	-	-
16	-	28	-	18	18
8	-	70	-	46	46
4	3	94	1	61	62
2	8	100	3	65	68
1	22	100	8	65	73
500 µm	60	100	21	65	86
250µm	95	100	33	65	98
125µm	100	100	35	65	100
F	2.88	6.92	101	450	551

Los resultados de la mezcla se dibujan en la gráfica para verificar si quedan dentro de los límites recomendados.



Si se utilizan los mismos agregados e igual cantidad de cemento, pero con una mayor plasticidad, es decir, con un asentamiento total de 12 cm, se tendrá la mezcla siguiente:

$$P_a = 10 \times 2,88 + 28 + 0,5 \times 12 - 0,08 \times 320 = 37\%$$

Entonces, el porcentaje de agregados gruesos es de 63%.

La tabla de porcentajes sería la siguiente:

Granulometría de la mezcla nominal 31,5 mm

Tamices	Arena	Ripio	Arena 37%	Ripio 63%	Mezcla
31,5					
16		28		18	18
8		70		44	44
4	3	94	1	59	60
2	8	100	3	63	66
1mm	22	100	8	63	71
500 m	60	100	22	63	85
250 m	95	100	35	63	98
125 m	100	100	37	63	100
F	2.88	6.92	106	436	542

La línea granulométrica de esta segunda mezcla está también indicada en la gráfica anterior y de la misma se concluye que la mezcla va a necesitar más cemento, porque está parcialmente entre las líneas B y C, lo cual está de acuerdo con la tabla indicada en la sección 4.7, para la consistencia dada.

Siguiendo con la composición 35%- 65%, se debe determinar la cantidad de agua necesaria para el hormigón. Como guía se pueden utilizar los siguientes valores que están relacionados con la cantidad de cemento y el asentamiento.

Consis-tencia	Tamiz nominal	8		16		31.5		63	
	Granulometría	AB	AC	AB	AC	AB	AC	AB	AC
	Asentamiento								
1	-	170	190	155	175	145	165	135	150
2	20 - 80	183	203	170	190	155	175	145	165
3	80 - 120	203	223	190	213	175	195	163	185
4	≥ 120	215	243	205	228	190	210	175	200

El cambio de la consistencia o asentamiento es aproximadamente a razón de 2 cm por cada 3 o hasta 4 litros de agua por m^3 de hormigón.

Según la tabla anterior, la mezcla calculada de 35%- 65% necesita alrededor de 175 litros de agua (nominal 31,5 mm y granulometría AB) con lo cual se puede calcular el volumen de la mezcla, tomando en consideración una cantidad de vacíos de 1,5%.

En el cálculo se aplican las siguientes densidades:

Cemento Portland	3 100 kg/m^3	= 3,10 t/m^3
Arena y ripio	2 650 kg/m	= 2,65 t/m
Agua	1 000 kg/m	= 1 t/m

Cemento V_c = 320 kg ÷ 3 100 kg/m = 0,103 m = 103 *l*

Agua V_w, = 175 *l:* = 175 *l*

Aire V_v 1,5% x 1000 *l* = 15 *l*

Subtotal = 293 *l*

Total agregados	V_t	= 1 000 - 293	=	707 *l*
35% arena	V_a	= 0,35 x 707	=	247 *l*
65% ripio	V_r	= 0,65 x 707	=	460 *l*

en masa M_a = 247 *l* x 2,65 = 654 kg

M_r = 460 *l* x 2,65 = 1 219 kg

La composición calculada de hormigón es de:

320 kg de cemento Portland

175 litros de agua

654 kg de arena seca

1 219 kg de ripio seco

1,5% de aire incorporado

Después se calcula la cantidad de finos < 250 µm:

El retenido sobre el tamiz 250 µm es el 95% (de la granulometría de la arena); entonces, 5% es menor que 250 µm, luego:

Volumen de finos < 250 µm = 5% x 247 *l* = 12 *l*

Volumen de cemento = 103 *l*

Total 115 *l*

La cantidad mínima de finos en una mezcla de agregado de tamaño nominal de 31,5 mm es igual a 120 *l* (tabla de la sección 4.4); por tanto, se debe añadir 5 *l* de cemento o sea una masa de 15,8 kg, con lo cual la cantidad total de cemento necesaria es de 335,8 kg.

4.9 Mezcla de ensayo según **el cálculo.** El paso siguiente consiste en hacer una mezcla de prueba según los datos obtenidos del cálculo. Cuando se tiene un mezclador pequeño en el laboratorio, por ejemplo de 50 litros, se calcula primero las cantidades necesarias para preparar la mezcla de 50 *l:*

0,05 x 335,8 kg cemento	=	16,79 kg
0,05 x 654 kg arena seca	=	32,7 kg
0,05 x1 219 kg arena seca	=	61,0 kg
0,05 x 175 kg agua	=	8,75 kg
Cantidad total	=	119,2 kg

Si el contenido de humedad de la arena es 3,5%y la del ripio es 29%, se debe calcular las cantidades necesarias para la mezcla de materiales húmedos:

arena 654 ÷ 0,965 kg	=	678	kg arena húmeda 3,5%
ripio 1 219 ÷ 0,98 kg	=	1 244	kg ripio húmedo 5%
agua 175 - 24 - 25	=	126 *l*	
cemento	=	35,8 kg	

Estos son los valores que se comunican a la obra para preparar el hormigón.

Cuando se han mezclado los 50 1 en la mezcladora del laboratorio, pueden hacerse con esta mezcla los ensayos siguientes:

a) determinación de la consistencia (sección 5.2, 5.3 y 5.4)

b) determinación de la densidad (sección 5.6)

c) determinación del contenido de aire (sección 5.7)

d) determinación de la resistencia a la compresión (sección 5.9 y 5.10).

En base a los resultados a, b y c se puede corregir todavía la mezcla. Cuando, a base de los ensayos, resulta que el asentamiento o el contenido de aire es excesivo, se puede preguntar si conviene guardar el resto de la mezcla que esté preparada en la mezcladora. Es recomendable utilizar este hormigón en probetas, ya que se tiene también la oportunidad de obtener nuevos valores para fines referenciales o investigativos, exclusivamente.

Cuando se ensayen cada semana dos probetas de cubos o cilindros, se obtendrá una buena indicación sobre el desarrollo de la resistencia de esta mezcla de hormigón.

De todos modos, es importante registrar sistemáticamente todos los datos obtenidos.

CAPITULO 5

CONTROL DE CALIDAD DEL HORMIGON

5.1 Toma de una muestra de hormigón fresco. Una muestra de hormigón debe tomarse de tal manera que pueda considerársela como representativa de todo el lote mezclado, y el proceso de mezcla debe cumplirse en su totalidad.

Una muestra debe estar relacionada con una carga de hormigón. La muestra de hormigón debe tener un volumen mínimo de 30 litros y debe tomarse del vehículo de transporte en el que no haya posibilidad de absorción de agua. La toma de la muestra es preferible hacerla durante el tiempo medio de la descarga.

Durante el transporte de las muestras, éstas deben protegerse contra las influencias del clima, como lluvia, sol, evaporación, y contra una posible descomposición.

Antes de que se analice la muestra, debe mezclarse íntimamente con una pala, tratar el hormigón fresco lo más pronto posible y siempre dentro de un lapso de una hora después de la toma de la muestra.

5.2 Determinación del valor de compactación.

5.2.1 *Instrumental.*

a) Para este ensayo se necesita un recipiente de acero de forma prismática, con medidas interiores de 200 mm x 200 mm y con una altura de 400 mm. El fondo de este prisma debe tener perforaciones.

b) Una lámina de plástico de 200 mm x 200 mm para tapar el fondo perforado del prisma.

c) Una paleta de albañilería con la hoja de forma de un trapecio, con un ancho de 100 mm y una longitud de 160 mm.

d) Un vibrador de inmersión o una mesa vibradora.

e) Una cinta métrica.

5.2.2 *Ejecución.* Se deposita el hormigón utilizando la paleta desde el borde del recipiente prismático, una vez que se ha colocado la lámina de plástico en el fondo.

Cada vez se tomará el borde superior siguiente hasta que el prisma esté más que lleno.

Se iguala la superficie al nivel de 400 mm sin tapar o compactar el hormigón.

Después se compacta el hormigón por medio del vibrador de inmersión o la mesa vibradora, hasta que no exista más asentamiento en el prisma.

En los puntos medios de los cuatro lados se mide el asentamiento S en mm y se calcula el asentamiento promedio.

El valor de compactación es de C = 400/(400-s).

Este valor es indicativo de la plasticidad de la mezcla.

5.2.3 *Ejemplo:* Método del prisma cuadrado.

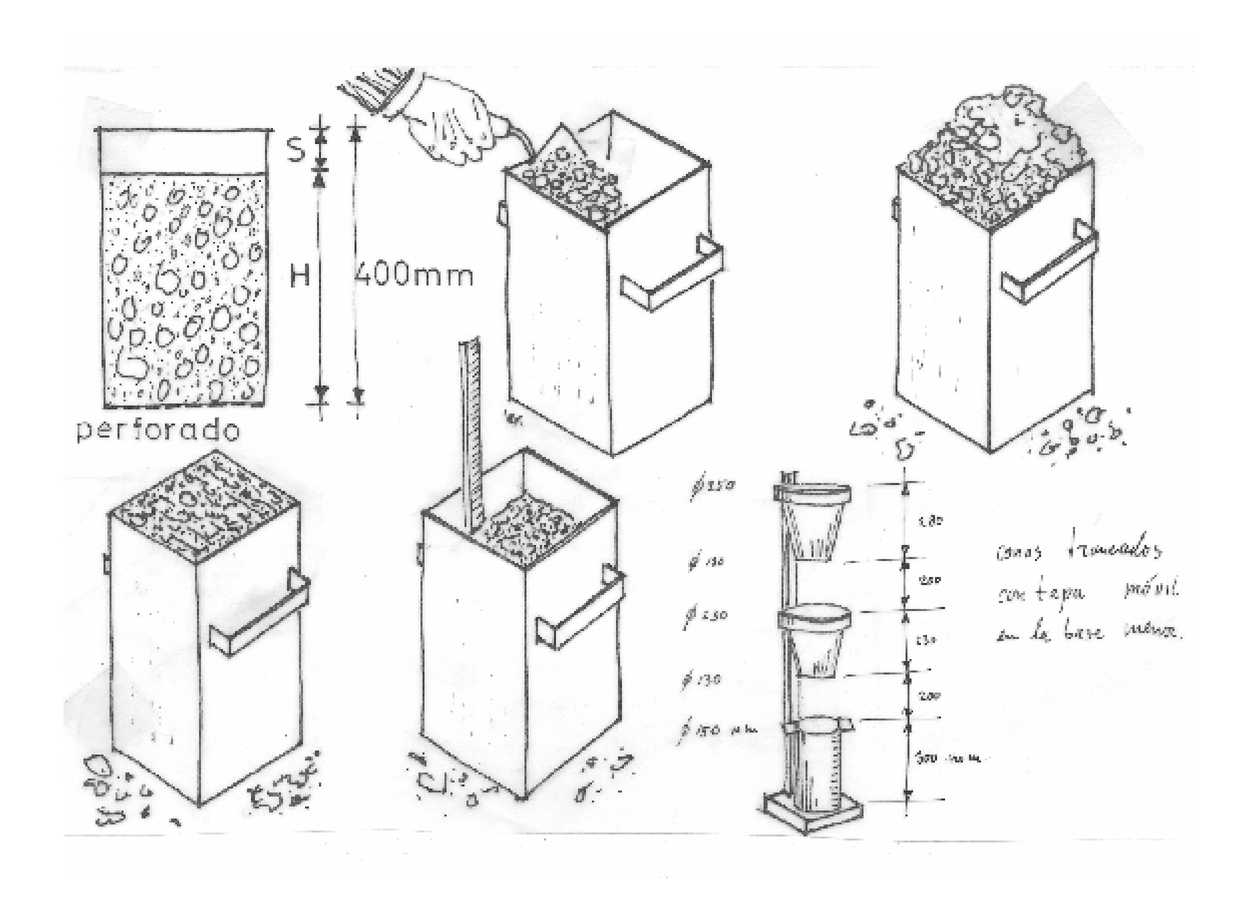
Durante la operación anteriormente descrita se miden los siguientes valores S = 95 mm, S = 90 mm, S = 91 mm, S = 92 mm

$$S = \frac{S_1 + S_2 + S_3 + S_4}{4} = \frac{95 + 90 + 91 + 92}{4} = 92\ mm$$

La altura promedio es de 400 - 92 = 308 mm.

La media de compactación es C = $\frac{400}{308} = 1{,}30$

El valor obtenido con este método es siempre mayor que 1.



5.2.4 *Ejecución y método del prisma circular y de los conos truncados.* Este método se realiza por medio de un aparato que tiene dos conos truncados invertidos con tapas móviles en la base menor, colocados encima de un prisma circular de masa conocida. Utilizando la paleta de albañilería triangular descrita anteriormente, se llena el cono superior, se deja caer el contenido en el segundo cono y después se deja caer en el prisma hasta que éste se llene.

Se elimina el exceso de hormigón que está encima del borde del prisma, se determina la masa del prisma con el contenido de hormigón y se calcula la masa del hormigón (P_1).

El hormigón en el molde es después compactado por medio de vibración y llenado durante este proceso hasta el borde.

Se determina la masa del prisma con el hormigón debidamente compactado y se calcula nuevamente la masa del hormigón (P_2).

El coeficiente de compactación = $\frac{masa\ no\ compactada}{masa\ compactada} = \frac{P_1}{P_2}$

Este valor debe ser siempre menor que siempre menor que 1.

5.3 Medida del asentamiento.

5.3.1 *Instrumental*

a) un molde tronco cónico con bases abiertas (Cono de Abrams) con las medidas siguientes:

- diámetro interior inferior 200 mm
- diámetro interior superior 100 mm
- altura 300 mm

las tolerancias de estas medidas son ± 3 mm;

el metal interior debe ser liso sin corrosión y en el exterior debe tener agarraderas y opcionalmente en la base del cono estar fijados soportes para apoyo de los pies del laboratorista;

b) una varilla lisa de 16 mm de diámetro (5/8") y de 600 mm de longitud (24") con tope redondeado;

c) una plataforma plana e impermeable.

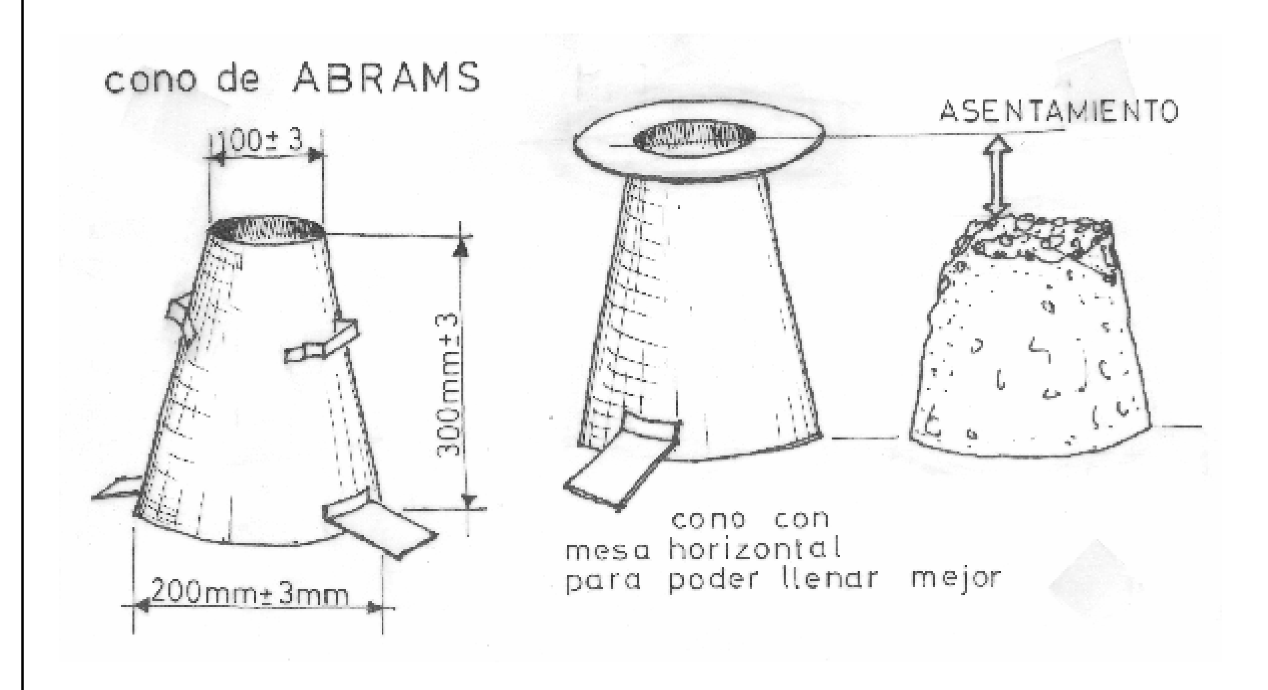
5.3.2 *Ejecución.* El interior del cono así como la plataforma plana deben mejorarse ligeramente y colocarse el molde sobre esta superficie de una manera bien cerrada., Generalmente se logra esto al poner los pies sobre los soportes. El cono debe llenarse en tres porciones aproximadamente iguales y cada capa de hormigón debe ser compactada con 20 penetraciones de la varilla

La última capa debe compactarse con una pequeña cantidad de hormigón encima del borde. Después de la compactación se iguala la superficie de hormigón utilizando la varilla en movimiento horizontal y rodante. Luego de haber igualado la superficie, se debe sacar el cono cuidadosa y verticalmente de la masa de hormigón.

Cuando el tronco de cono de hormigón se desploma, debe hacerse nuevamente el ensayo con otro hormigón del mismo lote.

Inmediatamente se coloca el cono metálico al lado del hormigón y se mide el asentamiento vertical del tronco de cono de hormigón.

La distancia en cm es el valor del asentamiento.



Cuando el cono de hormigón se desploma cada vez, quiere decir que la consistencia del hormigón es tan baja que no sirve para este tipo de ensayo

5.4 Medida de consistencia.

5.4.1 *Instrumental.*

a) Cono de Abrams y varilla descritos en el párrafo anterior.

b) Mesa sacudidora que consta de una mesa superior de 700 mm x 700 mm, móvil, de 16 kg ± 1 kg, y que tiene un acabado de una hoja de acero de 2 mm de espesor, y una mesa inferior.

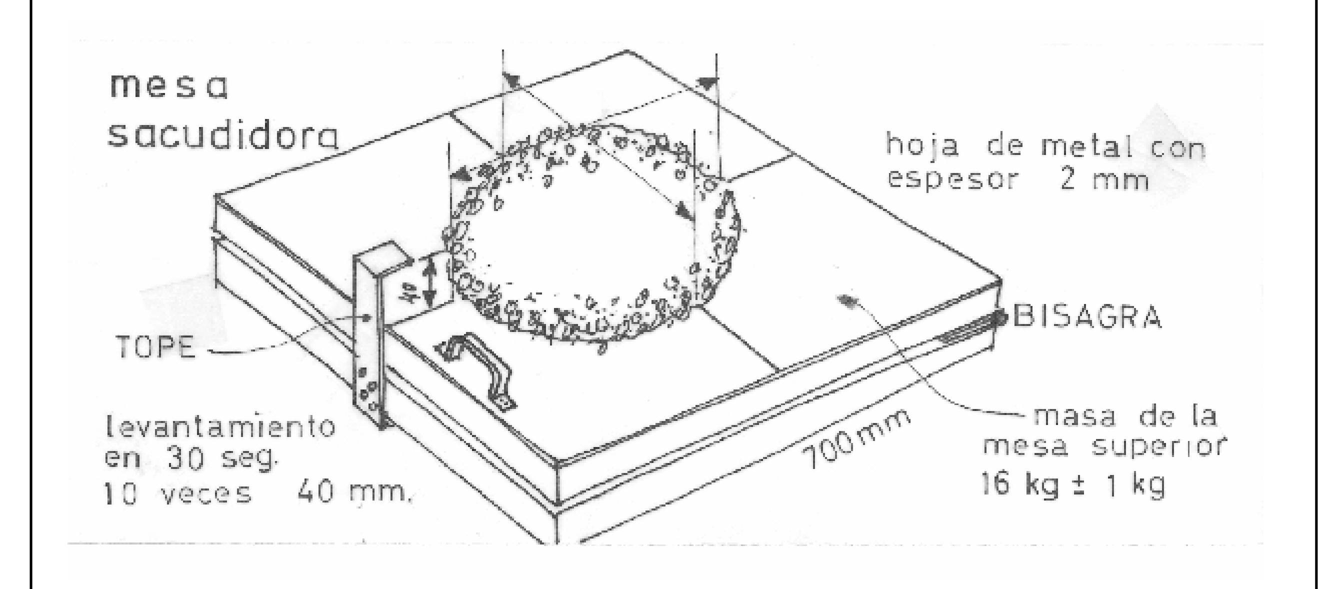
La mesa superior está colocada sobre la mesa inferior y fijada a un lado con bisagras. Al lado opuesto existe un tope, a cuatro cm encima de la mesa superior, que permite un movimiento vertical de dicha mesa hasta de 40 mm. Las mitades de esta mesa están indicadas por medio de líneas perpendiculares entre sí y paralelas a los lados respectivos, marcadas en la superficie.

5.4.2 *Ejecución.* Se determina la medida de asentamiento poniendo el cono de Abrams en el centro de la mesa (párrafo 5.3).

Después que se ha tomado esta medida se levanta la mesa superior lentamente hasta el tope y se deja caer. Esto se repite 10 veces dentro del tiempo de 30 segundos.

Después se miden los diámetros sobre las 2 líneas centrales y perpendiculares.

El promedio de estos valores es la medida de consistencia y proporciona una adecuada indicación de la plasticidad del hormigón.



5.4.3 ***Mesa de ensanchamiento.*** Según ASTM C 124-39, otro método para medirla consistencia o el flujo plástico es el de la mesa de flujo (ensanchamiento) con cono especial. Esta construcción evidentemente es más costosa que la mencionada en los párrafos 5.4.3 y 5.4.2 (Norma BS 1881)

Útiles necesarios:

a) tronco de cono metálico con diámetro interior inferior de 25,5 mm, diámetro interior superior de 170 mm y altura de 125 mm;

b) mesa de flujo (ensanchamiento) de acero, con peso propio de la parte móvil de 14 kg ± 1 kg y con una altura de caída libre 1,27 cm. La mesa debe colocarse encima de una losa de hormigón

5.4.4 *Ejecución.* El tronco de cono se llena en dos capas, compactado cada vez con la varilla, y después de haber igualado la superficie y limpiado la mesa con una esponja mojada se levanta el cono lentamente en dirección vertical.

Luego, la mesa debe levantarse lentamente 15 veces para dejarla caer libremente en un tiempo de 15 segundos.

El diámetro del hormigón se mide en centímetros y se calcula el flujo plástico del hormigón según la ecuación siguiente:

$$Flujo\ en\ porcentaje = \frac{Diámetro - 255\ cm}{25{,}5\ cm}\ x\ 100 = F\%$$

5.4.5 El tercer método para medir la plasticidad es el uso del medidor VEBE de consistencia, que tiene una mesa vibradora, el cono de Abrams, un cilindro determinado y un disco plástico con tamaño del diámetro interior del cilindro.

Después de haber medido el asentamiento, se coloca el disco plástico encima del tronco de cono de hormigón y se arranca el vibrador.

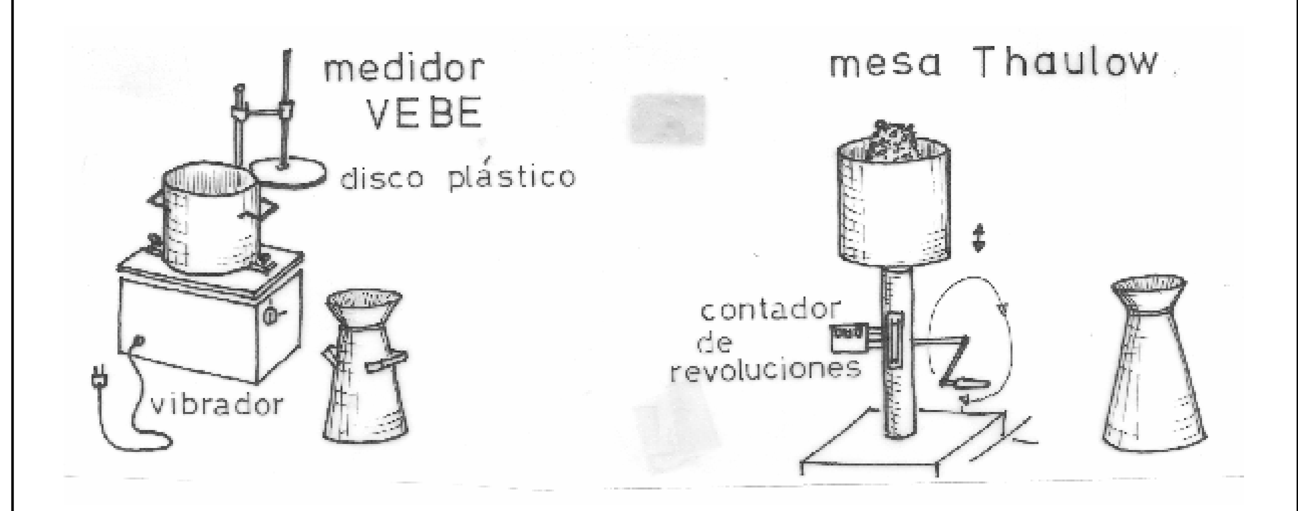
El número de segundos necesarios para una distribución igual y horizontal del hormigón en el cilindro es el valor VEBE.

Este valor se obtiene rápidamente, pero es un método muy sensible para hormigones muy secos. Es evidente que este aparato es mucho más caro que los otros.

5.4.6 El cuarto método para medir la plasticidad es el método de la mesa Thaulow.

Este método tiene mucha semejanza con el medidor VEBE y es de un sistema manual.

El número de revoluciones necesarias de la mesa (cilindro) Thaulow para que el hormigón tome una posición horizontal es indicativo para su plasticidad. Cada revolución implica 4 caídas de la mesa.



5.4.7 A fin de comparar los resultados de los varios métodos mencionados anteriormente, se puede utilizar la siguiente tabla. Según el tipo de hormigón, un método es más sensible que otro, pero la mayoría de los ensayos se hacen para las consistencias 1, 2 y 3.

Area de consistencia del mortero	**Descrip-ción**	**Asentamien-to en mm**	**Segundos VESE**	**Coeficiente de compacta-ción (Sec-ción 5.2.4)**	**Valor de compacta-ción (Sec-ción 5.2.3)**	**Revolu-ciones Thaulow**	**Mesa sacudi-dora y mesa de ensancha-miento (en Porcenta-jes)**
00	muy seco	--	32 - 18	-	-	112 - 56	< 25
0	rígido	-	18 - 10	0,70	-	56 - 28	30
1	medio seco	5 - 20	10 - 5	0,75	1,50-1,20	28 - 14	60
2	medio plástic	20 - 80	5 - 3	0,75	1,20-1,10	14- 7	100
3	plástico	80- 120	3 - 0	0,90	1,10-1,05	7 - 1	150
4	fluido	120-160	-	0,95	1,05-1	-	> 200

5.5 Determinación de la relación agua - cemento.

5.5.1 Determinación mediante cálculo de las masas de los materiales del mortero.

5.5.1.1 *Ejecución.* Se anota las cantidades de masa o volumen de los materiales componentes del mortero y se determina la humedad de los agregados, para lo cual se deben tomar las muestras más representativas en los siguientes sitios:

a) en la distribución durante la clasificación del mortero,
b) directamente antes o después de la dosificación,
c) del lote de almacenaje durante la dosificación.

5.5.1.2 *Ejemplo de cálculo.* Las cantidades para una carga de 3,5 m^3 de hormigón son aproximadamente las siguientes:

cemento 1 138 kg
arena húmeda 2 675 kg humedad 4,5% del material seco
ripio húmedo 4 060 kg humedad 1,0% del material seco
agua 485 kg

La arena húmeda contiene $2\,675 - \frac{4\,060}{104{,}5} x\,100 = 115\,kg\ de\ agua$

El ripio húmedo contiene $4\,060 - \frac{4\,060}{101{,}0} x\,100 = 40\,kg\ de\ agua$

Cantidad total de agua: *485 kg + 115 kg + 40 kg = 640 kg*

La relación agua-cemento es de $\frac{640}{1138} = 0{,}56$

Esta relación agua-cemento demuestra la posibilidad de una equivocación en que podría incurrirse, si es que se tomara la relación agua-cemento sin considerar la humedad de los agregados solo como $\frac{485}{1138} = 0{,}43$, cuando en realidad resulta mucho más excesiva.

5.5.2 *Determinación de la relación agua-cemento según el método del picnómetro.*

5.5.2.1 *Instrumental:*

a) recipiente de construcción rígida y borde superior totalmente uniforme y plano, de modo que proporcione una superficie horizontal; se recomienda el empleo del recipiente que se utiliza para medir el contenido de aire según el sistema de presión, que tiene una capacidad generalmente de 8 litros, y que reúne los requisitos ya indicados;

b) balanza con capacidad de 25 kg y precisión de 10 gramos;

c) hoja de vidrio con medidas aproximadamente de 250 x 250 x 6 (mm);

d) varilla para mezclar.

5.5.2.2 *Ejecución.* Para este análisis es necesario conocer el peso propio del recipiente, así como del recipiente lleno con agua y tapado con el vidrio. Cuando se utilizan cada vez los mismos materiales para este ensayo, se puede anotar estos valores para el uso futuro:

a) determinar la masa del recipiente vacío y seco (valor A);

b) llenar el recipiente con agua y sacar las burbujas de aire; tapar el recipiente con el vidrio de tal manera que el agua toque en todas las partes del vidrio y no queden burbujas abajo del mismo; secar el exterior del recipiente y vidrio y determinar la masa del conjunto (valor B);

c) en el recipiente nuevamente seco se pesa la masa de 10 kg ± 10 g de hormigón fresco, tomando de la muestra de la cual se quiere determinar la relación agua-cemento; llenar el recipiente con agua hasta 3/4 de su volumen; mezclar el hormigón con el agua durante 3 ó 4 minutos de modo intensivo hasta que salgan todas las burbujas de aire que estaban incorporadas en el hormigón. Con alguna experiencia, se puede notar que el movimiento de mezcla es un poco más difícil cuando no hay aire incorporado.

   Entonces, se llena el recipiente con agua hasta el borde y se coloca el vidrio, secando la espuma. Se llena el recipiente hasta que el agua toque el vidrio en todas sus partes, lo cual puede hacerse con una botella inyectora.

   Se seca el exterior del recipiente de vidrio, y se determina la masa del conjunto: recipiente, hormigón, agua y vidrio (valor C).

   La masa bajo agua de la muestra de 10 kg de hormigón es C-B g.

5.5.2.3 *Cálculos.* Para determinar la relación agua-cemento se pueden utilizar los diagramas de Thaulow. Estos diagramas indican la relación entre la relación agua-cemento y la masa bajo agua del mortero de hormigón, para diferentes valores de K

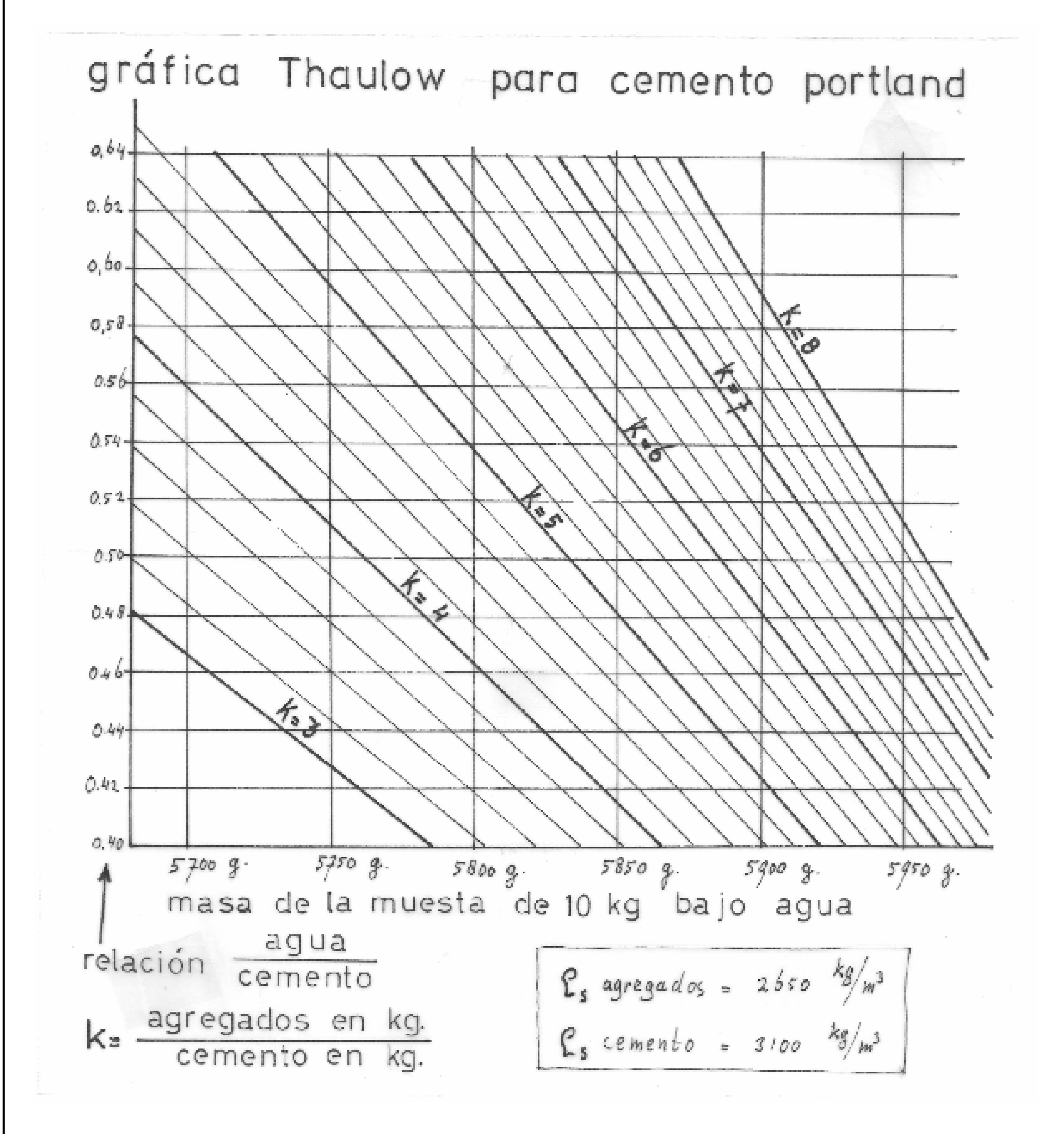
Este valor K es la relación de masas entre los agregados secos y el cemento en la mezcla, es decir:

$$K = \frac{cantidad\ de\ agregados\ secos\ en\ kg}{cantidad\ de\ cemento\ en\ kg}$$

La cantidad de agregados secos se calcula a base de las cantidades de arena y piedra húmedas y de los porcentajes de humedad. Cuando no se conocen estos valores, debe hacerse una estimación.

Como cantidad de cemento se tomará de la carga respectiva.

Para cemento Portland se puede utilizar la siguiente gráfica de Thaulow



5.5.2.4 *Ejemplo de cálculo.*

Masa del recipiente con 10 kg de hormigón, lleno de agua, sin aire incorporado y tapado con el vidrio	C = 19 960 g
Masa del recipiente lleno con agua y tapado con el vidrio	B = 14 150 g
Masa del hormigón bajo agua	C-B 5 810 g

Para determinar el factor K se debe conocer la dosificación del cemento y de los agregados. Suponiendo que se han utilizado las siguientes cantidades para 6 m^3 de hormigón:

2 015 kg cemento Portland

4 725 kg arena húmeda (4% humedad de la masa húmeda)

6 945 kg piedras húmedas (2% humedad de la masa húmeda)

720 kg agua

La cantidad de agregados secos es de:

$$0,96 \times 4\,725 + 0,98 \times 6\,945 = 11\,342 \text{ kg}$$

$$K = 11\,342 : 2\,015 = 5,66$$

A base de la gráfica Thaulow para cemento Portland se puede determinar que la relación agua cemento es 0,566.

Cuando se compare este valor con las cantidades medidas, se obtienen los resultados siguientes:

Agua en la arena	0,04 x 4 725 =	189 kg
Agua en el ripio	0,02 x 6 945 =	139 kg
Agua adicional		720 kg
	Total	1 048 kg

La relación agua-cemento según valores pesados es $\frac{1048}{2015} = 0,52$

La relación agua-cemento encontrada es de 0,566, lo cual significa una diferencia de:

$$\frac{4,6}{52} \cdot 8,8\%$$

Esta diferencia puede ser causada porque:

a) la muestra es diferente del lote total, luego no es totalmente representativa;

b) durante la determinación de las masas pueden haber diferencias pequeñas;

c) los porcentajes de humedad de los agregados no son totalmente conformes a la realidad;

d) no se han considerado las tolerancias de instrumentos para determinar las masas;

e) hay inexactitudes por haber redondeado los valores;

f) hay inexactitudes en la lectura de la gráfica

5.6 Determinación de la densidad del hormigón.

5.6.1 *Instrumental:*

a) recipiente de construcción rígida y borde superior totalmente uniforme y plano, que proporcione una superficie horizontal; se recomienda utilizar el recipiente para medir el contenido de aire, según el sistema de presión;

b) una balanza de capacidad mínima de 25 kg y sensibilidad a 10 gramos;

c) un vibrador, mesa vibradora o varilla de compactación;

d) una hoja de vidrio.

5.6.2 *Ejecución.*

a) determinar la masa del recipiente vacío y seco incluyendo la masa de la hoja de vidrio con una exactitud de 10 gramos (valor A);

b) llenar el recipiente totalmente con agua y taparlo con la hoja de vidrio evitando la presencia de burbujas de aire; secar el exterior del recipiente y vidrio y determinar la masa del conjunto con una exactitud de 10 g (valor B);

c) el contenido del recipiente es B - A en ml;

d) llenar el recipiente con hormigón y compactarlo según el método aplicado en obra; pasar el vidrio sobre el borde y eliminar el hormigón sobrante, después limpiar y secar el exterior del recipiente y vidrio; determinar la masa del conjunto recipiente, hormigón y vidrio, en g (valor C),

e) la masa del hormigón dentro del recipiente es igual a C -A,

f) la densidad del hormigón es igual a $\frac{C-A}{B-A} x\,1000\, kg/m^3$

5.6.3 *Ejemplo de cálculo.*

A = 4 000 g (recipiente más hoja de vidrio)

B = 12 030 g (recipiente más agua más hoja de vidrio)

C = 23 000 g (recipiente más hormigón más hoja de vidrio)

$$densidad\ del\ hormigón \frac{23\,200-4\,000}{12\,030-4\,000} x\,1000 = 2391\,kg/m^3$$

5.7 Determinación del contenido de aire del hormigón.

5.7.1 *Determinación según el método depresión.*

5.7.1.1 *Instrumental,*

a) un aparato medidor del contenido de aire, de aproximadamente 8 litros de capacidad o con un volumen adecuado para analizar una muestra representativa; este aparato debe ser de una construcción suficientemente rígida para mantener el mismo volumen bajo presión, debe tener una tapa para formar un conjunto hermético y suficientemente rígido, y debe estar equipado con un artefacto para aplicar una presión conocida;

b) un vibrador, mesa vibradora o varilla de compactación;

c) un frasco o perilla de inyección para agua.

5.7.1.2 *Ejecución.* En el siguiente texto se hace referencia a los números correspondientes del dibujo del ensayo:

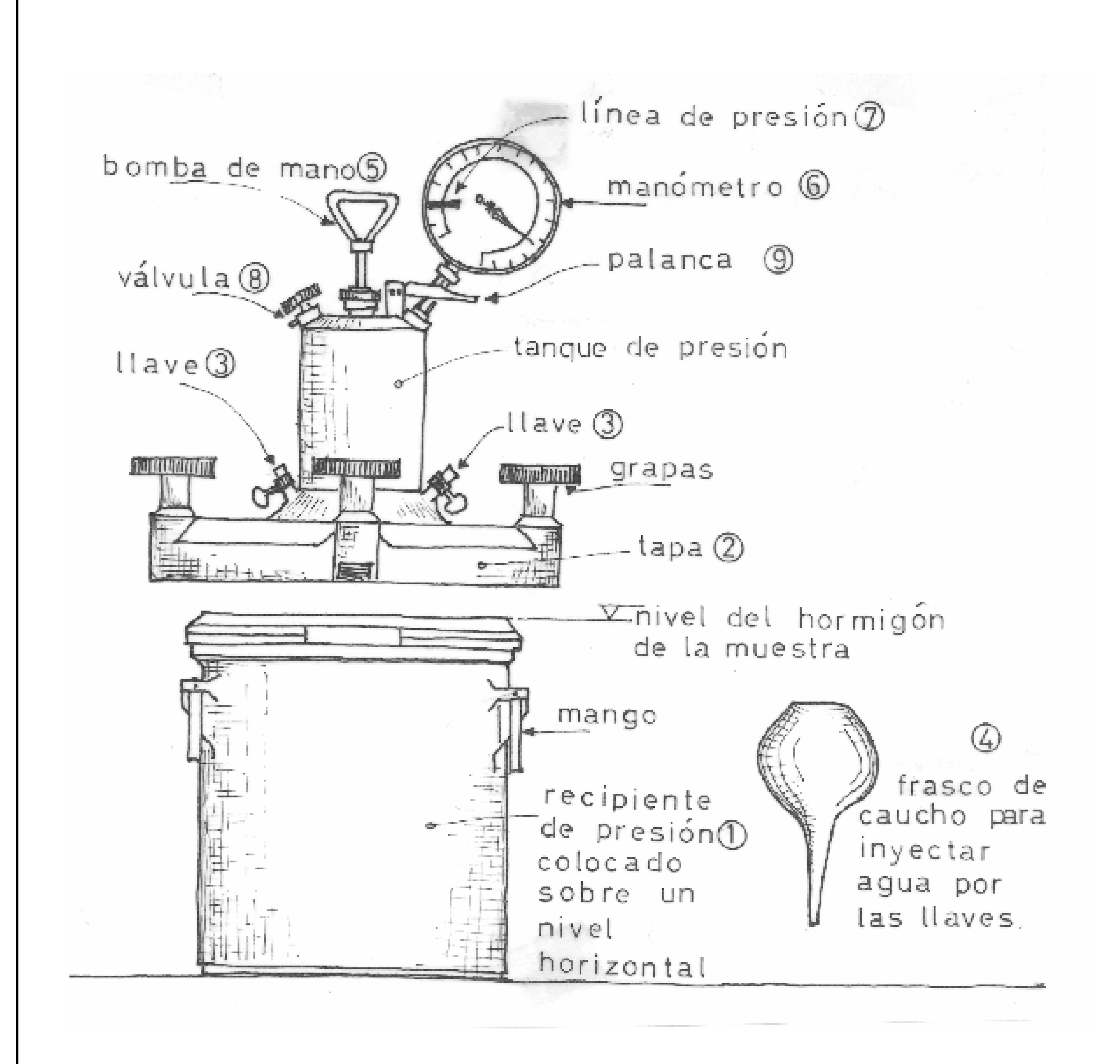
a) colocar el recipiente sobre una superficie horizontal; llenar el recipiente de presión (1) con la muestra de hormigón y compactarla según el método aplicado en la construcción, lo cual puede hacerse por medio de un vibrador o una varilla de compactación; con una regla se eliminará el hormigón sobre el borde del recipiente y se limpiará bien el borde del mismo;

b) se abren las llaves (3) de la tapa (2), se coloca la tapa (2) adecuadamente sobre el recipiente y se cierra herméticamente utilizando grapas;

c) con el frasco o perilla de inyección (4) se inyecta agua en la tapa (2) a través de las llaves (3) hasta que el agua salga de las llaves; se inclina el recipiente y se hace rotar el tope para que salga todo el aire contenido bajo la tapa; después que el recipiente es colocado de nuevo horizontalmente, se inyecta otra vez agua hasta que salga de las otras llaves y se cierran bien las llaves (3); según el equipo, la máquina tiene de dos hasta cuatro llaves;

d) se suelta la varilla de la bomba (5) y se aumenta la presión en el conjunto hasta que el indicador del manómetro (6) está en el punto de presión (7); cuando se espera unos segundos se puede corregir la posición del indicador, para sacar un poco de aire a través de la válvula (8) o para bombear un poco más; una vez que el indicador está en el punto de presión del manómetro se sigue con lo siguiente:

e) se aplasta la palanca (9) para que el aire comprimido entre en el recipiente, y se la mantiene aplastada por lo menos durante 5 segundos, golpeando ligeramente el manómetro hasta que se estabilice el indicador, el mismo que también indica directamente el contenido de aire de la muestra, en porcentaje.



De los tres métodos indicados en los párrafos 5.7.1, 5.7.2 y 5.7.3, el método anterior resulta el más sencillo. Además la desviación por diferencias de alturas sobre el nivel del mar es pequeña con relación al contenido de aire en el hormigón.

5.7.2 *Determinación del contenido de aire por el método volumétrico.*

5.7.2.1 *Instrumental.*

a) un recipiente medidor de por lo menos 5 litros de capacidad, que consiste en una parte inferior cilíndrica con fondo y una parte superior a modo de embudo invertido, que calza perfectamente con la parte inferior (ver figura); en el tubo de la parte superior está colocada una ventanilla con escala y una tapa de cierre hermético en el extremo; la parte superior puede fijarse sobre la parte inferior herméticamente;

b) una varilla de compactación o un vibrador.

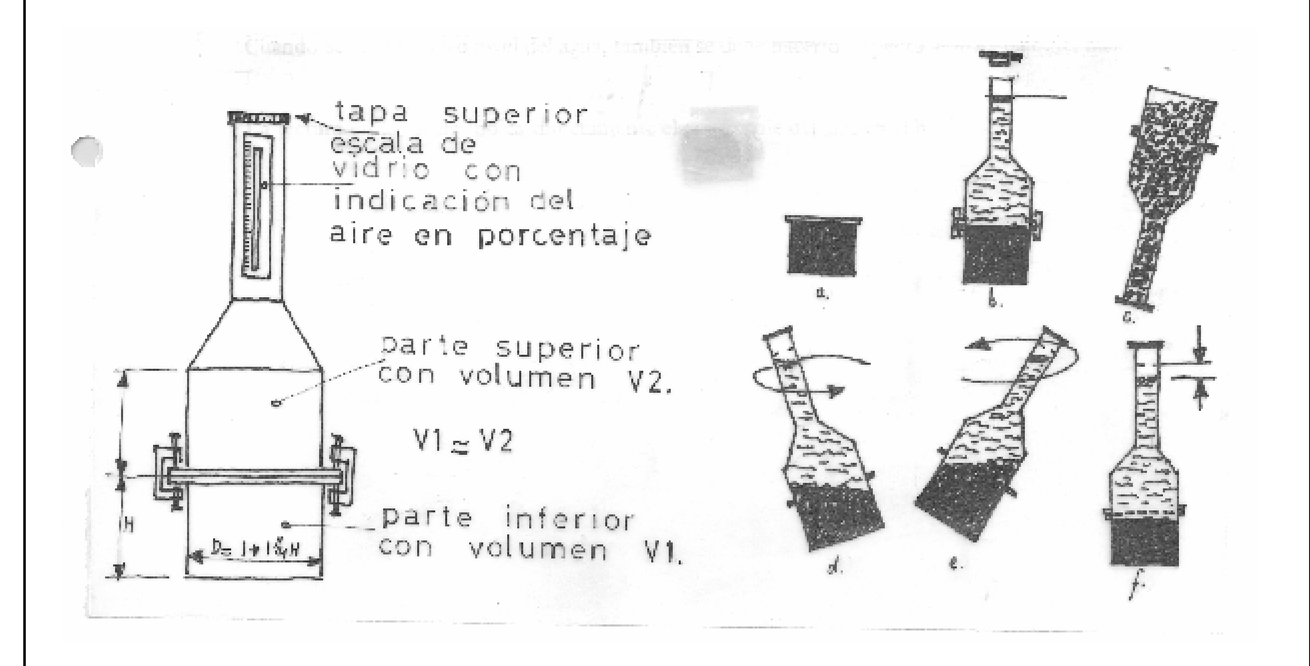
5.7.2.2 Cuando el hormigón no es compactado en la obra, se debe llenar el recipiente inferior con dos capas de hormigón; cada capa debe ser compactada con 25 penetraciones de la varilla.

Cuando el hormigón en la obra es compactado mediante un vibrador, la muestra del ensayo debe ser vibrada tal como se hace con el hormigón en obra. Con la regla se iguala la superficie del hormigón a nivel del borde del recipiente inferior y se limpia bien los bordes para sujetar la tapa.

Se coloca la parte superior, sin la tapa de cierre hermético, sobre la parte inferior. Se llena la parte superior con agua hasta que coincida la línea de cero con el menisco y se coloca la tapa del tubo, cerrándola bien.

Invertir el conjunto y agitar hasta que baje el hormigón; luego regresarlo a la posición vertical normal y continuar agitando hasta que salga todo el aire del hormigón. Después dejarlo reposar y esperar hasta que todo el aire se haya acumulado en la parte superior del tubo.

Se registra el nuevo nivel de agua, tomando como referencia la parte inferior del menisco. Cuando se ha acumulado una cantidad de espuma, la lectura es difícil. En este caso, se puede añadir una cantidad determinada de alcohol por la tapa superior para eliminar la espuma. En el cálculo se debe disminuir esta cantidad de alcohol (alcohol isoprofílico).



Cuando se lee el nuevo nivel del agua, también se debe hacerlo respecto al nivel bajo del menisco.

La lectura en la escala indica directamente el porcentaje del aire en el hormigón y puede ser determinado con exactitud de 0,1%.

El método mencionado es el más sencillo, utilizando un equipo más simple; no obstante, da valores suficientemente exactos y es utilizable para cualquier tipo de agregado denso, ligero o poroso.

El volumen V_1 (recipiente inferior) para agregado nominal de 31,5 mm es mínimo de 5 litros y para agregado nominal de 63 mm es mínimo de 10 litros.

5.7.3 *Determinación del contenido de aire según la Norma ASTM 231-68.*

Este método es un poco más laborioso y además se requiere calibrar el aparato. Mientras no se necesiten medidas con exactitudes mayores a 0,1%, se pueden utilizar preferentemente los dos métodos anteriormente indicados, por razones de orden práctico.

5.7.3.1 *Instrumental:*

a) un recipiente de medida de construcción rígida para mantener el mismo volumen bajo presión y con una capacidad de aproximadamente 8 litros para agregados de 31,5 mm de tamaño nominal; el recipiente tiene una tapa de cierre hermético con un equipo para aplicar presión y válvulas de escape y un dispositivo para observar los efectos de los cambios de presiones (columna de vidrio graduada);

b) cilindro de calibración, con volumen interior de 5% ± 1% del volumen del aparato;

c) resorte o dispositivo para fijar el cilindro en el aparato;

d) varilla de compactación o un vibrador;

e) una escala con lecturas de 0,5 g y una capacidad de 20 kg;

f) hoja de vidrio.

Cuando se requiere analizar un hormigón con agregado de tamaño nominal 63 mm, el volumen del recipiente debe ser de 141 ó más.

5.7.3.2 *Calibración del aparato.* Estos aparatos deben ser calibrados en el sitio de trabajo, tomando en cuenta la altura sobre el nivel del mar del lugar de la obra.

El factor de calibración K es la magnitud del descenso de agua sobre la columna de vidrio graduada, originada por la aplicación de la presión P requerida durante el proceso de calibración.

El valor K se calcula con la siguiente fórmula:

$$K = H \frac{w}{W} x\,100$$

Donde:

w = peso en kg del agua requerida para llenar el cilindro de calibración (medida con exactitud de 0,5 g).

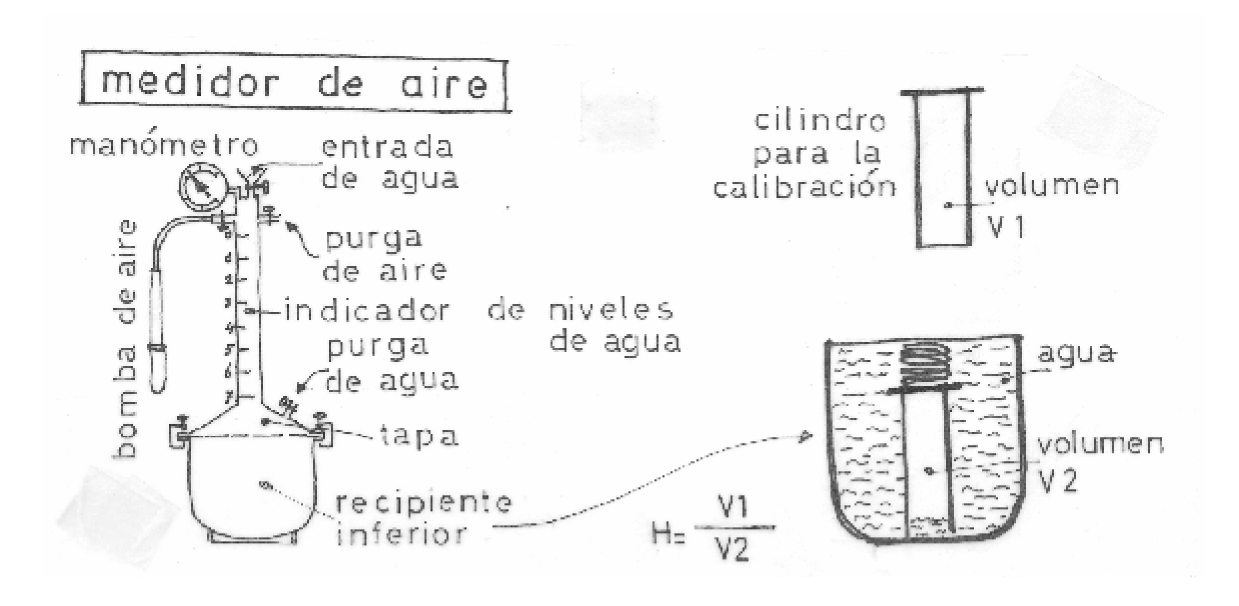
W = peso en kg del agua requerida para llenar el recipiente inferior totalmente con agua. Este valor se obtiene sin la colocación de la tapa y utilizando la hoja de vidrio.

H = relación entre el volumen de aire en el cilindro de calibración, antes de llenar el recipiente con agua y el volumen de aire después de haberse llenado. El cilindro se mantiene en la posición invertida vertical con la ayuda de un resorte u otro dispositivo.

El valor H disminuye ligeramente a medida que la altura sobre el nivel del mar aumenta como sigue:

nivel del mar	H	=	0,980
altura 600 m	H	=	0,970
altura 1 500 m	H	=	0,975
altura 2 500 m	H	=	0,972
altura 4 000 m	H	=	0,970

Los cambios de valores por influencia climatológica o de altura del recipiente son insignificantes respecto a la exactitud de las otras medidas.



Procedimiento de calibración:

a) Se coloca el cilindro de calibración dentro del recipiente con la abertura hacia abajo, se lo fija y coloca la tapa, cerrando bien las mordazas para evitar fugas de aire; el aparato debe estar en una posición exactamente vertical y lleno con agua hasta arriba de la línea cero;

b) se cierra el aparato y con la bomba de aire se aplica una presión de 50 Kpa hasta 200 Kpa (0,5 hasta 2 kg/cm^2); se inclina el aparato ligeramente y se lo hace girar, tapándolo para desprender el aire que puede haberse retenido por adherencia a las paredes interiores;

c) se vuelve a colocar el aparato en posición vertical y se deja escapar el aire; luego se deja escapar agua por la purga inferior hasta que la parte inferior del menisco de agua coincida con la línea cero;

d) se cierra nuevamente el aparato y se aplica la presión para que el agua descienda un poco más abajo del nivel del factor de calibración K y luego se la deja subir exactamente hasta el valor K utilizando la purga de aire.

La presión que indica el manómetro en este momento es el valor P de operación.

5.7.3.3 *Procedimiento de cálculo de aire incluido:*

a) se llena el aparato con la muestra, utilizando un vibrador cuando el hormigón es similarmente compactado en obra, o cuando no hay compactación en obra, en dos capas, golpeándole 25 veces con la varilla de compactación; se quita el exceso de hormigón hasta el nivel del borde del recipiente inferior y se limpia el borde;

b) se coloca la tapa herméticamente y se vierte agua hasta sobrepasar el nivel cero; se inclina, gira y tapa el aparato hasta que se desprendan las burbujas de aire de las paredes interiores; luego se coloca el aparato en posición vertical y se hace descender el nivel hasta que la parte inferior del menisco esté en la marca cero;

c) se cierra el aparato y se aplica la presión P, previamente determinada; cuando el manómetro queda exactamente en el valor P se hace la lectura de la columna de agua sobre el índice de vidrio graduado a la altura del menisco inferior; este valor es h_1 ;

d) aflojando un poco la purga de aire se deja bajar lentamente la presión durante un minuto hasta la marca cero y se abre totalmente la purga de aire;

e) se hace una nueva lectura del nivel de agua sobre el tubo de vidrio graduado; este valor es h_2; el porcentaje aparente de aire incluido en el hormigón es $A_1 = h_1 - h_2$;

f) sin restablecer el nivel cero en la escala de lecturas, se repiten las acciones mencionadas anteriormente en c), d) y e) inclusive, hasta que dos determinaciones consecutivas de aire incluido aparente no varíen en más de 0,2%;

g) el porcentaje del contenido de aire A en la muestra es igual al contenido de aire incluido aparente A_1, menos el factor de corrección del agregado, G ($A = A_1 - G$).

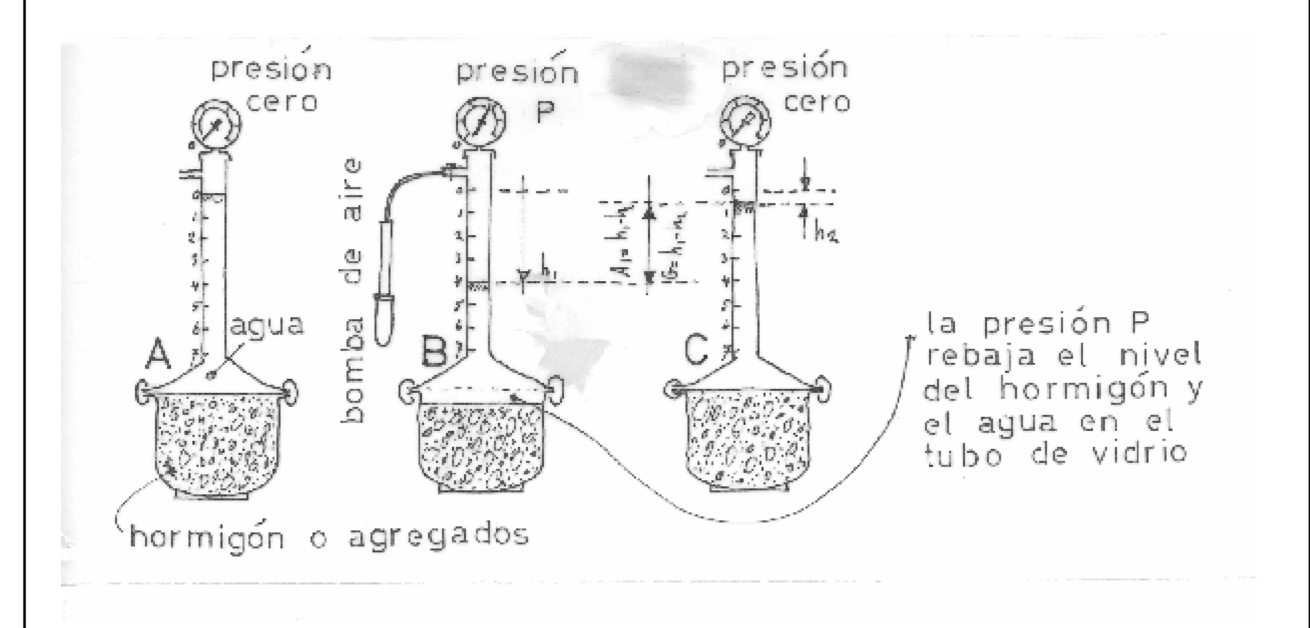
5.7.3.4 *Factor de corrección del agregado.* Las partículas del agregado son a veces porosas y por lo tanto capaces de retener aire. Este aire G en la determinación del contenido de aire aparente queda incluido en A_1, por lo que hay que determinarlo y restarlo del valor A_1.

Procedimiento:

a) se toma una composición y cantidad de agregados, según la composición y cantidad que se usa en la muestra de hormigón;

b) se llena el recipiente del aparato con agua hasta una tercera parte de su volumen, y luego se coloca poco a poco la muestra de agregados, de tal modo que no queden incluidas burbujas de aire, mezclándolo eventualmente con una varilla; se golpea la pared del recipiente *y* se eliminan toda la espuma *y* el agua sobrante;

c) se siguen los pasos del párrafo 5.7.3.3 desde b) hasta e) y se determina el factor de corrección del agregado G (h_1 - h_2).



5.8 Determinación de la densidad del hormigón fraguado.

5.8.1 *Instrumental.*

a) una balanza con una capacidad de 25 kg,

b) molde de probeta de hormigón (cúbica o cilíndrica),

c) calibrador de regla de 30 cm de longitud.

5.8.2 *Ejecución.* Según los requisitos generales, se deben tomarlas medidas *y* determinarla masa de una probeta directamente antes de sujetarle a la prueba de resistencia.

La determinación de la masa debe hacerse con una exactitud de 20 g, y el volumen debe determinarse con una exactitud de 1 mm para cada dirección. Cuando un cilindro no es exactamente redondo se debe tomar el promedio del diámetro mínimo y máximo.

Cuando un cilindro o cubo no tiene una altura bien nivelada, debe tomarse el promedio de los 4 lados.

La densidad de la probeta es para cubos:

$$\frac{masa\ de\ la\ probeta\ en\ kg}{lado\ al\ cubo\ (en\ m)}$$

$$Para\ cilindros: \quad \frac{masa\ de\ la\ probeta\ en\ kg}{3{,}14\ x\ radio\ al\ cuadrado\ x\ altura\ (en\ m)}$$

5.8.3 *Ejemplo:*

masa de la probeta de cubo	9 350 g	=	9,350 kg
lado	158 mm	=	0,158 m
densidad $\frac{9{,}35}{0{,}003\ 94}$ =			2 360 kg/m^3

5.9 La producción de una probeta. Para hacer las probetas de hormigón pueden considerarse dos formas principales: el cubo y el cilindro; ambos tienen ventajas y desventajas para usos distintos.

Como el cilindro de 15 cm x 30 cm da valores de mayor precisión, con una pequeña variación, el uso del mismo siempre es recomendable para fines de comparación a nivel de laboratorio y cuando se exige que sean solamente algunas probetas.

Cuando se considera el cilindro desde el punto práctico y para una utilización masiva, como el control de calidad en la construcción, el mismo ofrece algunas ventajas:

a) debe darse un tratamiento especial a las superficies para hacerlas lisas y paralelas (colocación del cammping), trabajo costoso en términos de material y tiempo;

b) el almacenamiento a corto y largo plazo demanda mucho espacio, menor capacidad cuantitativa de cuartos cerrados, etc;

c) los cilindros son relativamente pesados, lo cual tiene su implicación en costos de material y costos de transporte.

En varios países europeos, la utilización del molde cúbico de 150 mm de arista es práctica común para el control de calidad en la obra, por cuanto presenta las siguientes ventajas en relación con el molde cilíndrico de 150 mm x 300 mm:

a) sus lados son paralelos y lisos, por consiguiente no necesitan ningún tratamiento adicional, lo cual implica que se economiza un 50% del tiempo de la manipulación en la prueba;

b) su almacenamiento es económico, permitiendo guardar gran cantidad de cubos en un espacio relativamente pequeño;

c) su peso es menor (8 kg versus 12 kg), lo cual permite la mejor trabajabilidad;

d) el molde para tres cubos es más económico que tres moldes cilíndricos y se pueden fabricar moldes cúbicos en el sitio;

e) la compresión de los cubos se hace en el mismo sentido en el que trabaja el hormigón en las vigas y losas; además, las formas constructivas en general son rectangulares;

f) la identificación de los cubos se hace por medio de una descripción o colocación de un papel en el lado superior, que queda visible todo el tiempo hasta pasado el ensayo.

Como el cubo será considerado como elemento para probetas por la ISO, se ha establecido una tabla de conversión de la resistencia cilíndrica a la cúbica o viceversa.

TABLA DEL RILEM. "Reunión Internationale des Laboratoires et de Recherches sur les materiaux et les Constructions"

Tipo de hormigón Resistencia real en MPa	**Resistencia mínima a la compresión**	
	Cubos 150 x 150 mm	**Cilindros 150 x 300 mm**
12,5/10	12,5 (125 kg/cm^2)	10,0 (100 kg/cm^2)
15/12	15	12
20/16	20	16
25/20	25	20
30/25	30	25
35/30	35	30
40/35	40	35
45/40	45	40
50/45	50	45
55/50	55	50
60/55	60	55
65/60	65	60

La variación en los valores de la resistencia del cubo puede ser de ± 10%.

La variación para el cilindro es de ± 5%

5.9.1 *Instrumental para las probetas de cubos:*

a) molde cúbico con arista de 150 mm ± 3 mm, con una tolerancia de paralelismo de 2%, y con una tolerancia de planitud de 50µm;

b) una varilla de compactación de 600 mm, con diámetro de 16 mm y con la punta redondeada;

c) un vibrador de inmersión o una mesa vibradora;

d) un dispositivo a manera de embudo para llenar los cubos sin desperdicios;

e) una paleta.

5.9.2 *Ejecución.* Se llena el molde cúbico de 150 mm de arista. Antes de llenar el molde, el mismo debe estar limpio y tratado con aceite de desencofrar, para evitar la adherencia entre el hierro del molde y el hormigón.

El proceso de llenar el molde se debe hacer en un sitio bajo sombra, con temperaturas, en lo posible, entre 15°C y 25°C.

Para hormigón vibrado en la obra, se debe colocar el dispositivo de embudo encima del molde y se debe llenar el cubo en una sola vez, utilizando un vibrador de inmersión o una mesa vibradora.

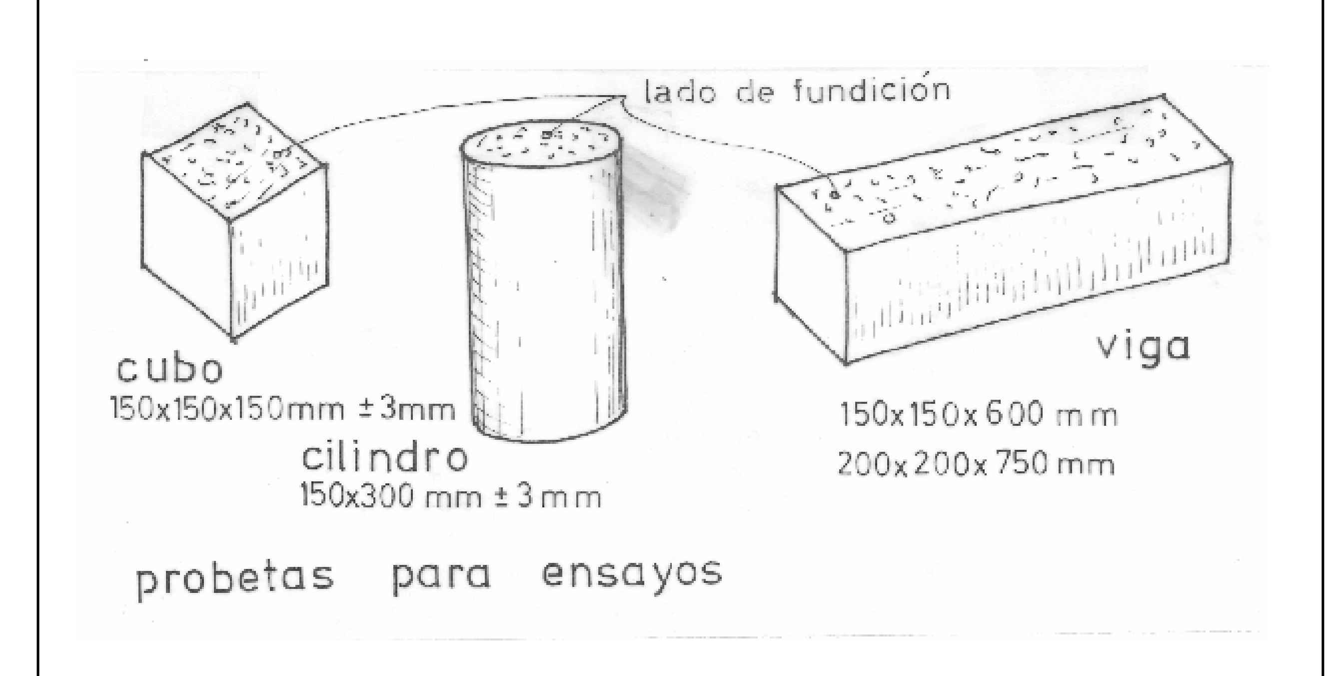
Para hormigón no compactado en la obra, se debe llenar en dos capas aproximadamente iguales. Cada capa se debe compactar por medio de 25 golpes de la varilla. Con la paleta se iguala la superficie.

El cubo debe ser claramente marcado con la fecha, el lugar y el lote del hormigón. Esto puede hacerse por inscripción en el mortero fresco, o colocando un papel sobre el hormigón. Este papel, así como la escritura, deben ser resistentes a la influencia del agua o humedad constante. El cubo debe taparse para evitar una evaporación del agua del hormigón. De acuerdo a la calidad del papel identificador, el mismo puede evitar la evaporación.

Después de 18 horas o más, pero antes de 48 horas, se debe sacar cuidadosamente el cubo de hormigón del molde y colocarlo en un tanque de agua que tenga una temperatura de 20°C ± 2°C.

Cuando no se disponga de un tanque de agua, se pueden guardar los cubos en un cuarto de curado que tenga un aire saturado de humedad a una temperatura de 20°C ± 2°C.

Este nivel de humedad se puede obtener a través de un neblinador. Las probetas deben tener una película de agua sobre la superficie en todos sus lados.



5.9.3 *Instrumental para las probetas cilíndricas de 150 mm x 300 mm*

a) molde cilíndrico de 150 mm x 300 mm ± 3 mm con fondo plano que se puede fijar perpendicularmente con el eje del cilindro;

b) varilla de compactación de 600 mm de longitud, 16 mm de diámetro y con la punta redondeada;

c) vibrador de inmersión o una mesa vibradora;

d) un dispositivo a modo de embudo para llenar el cilindro de una sola vez, sin desperdicios;

e) una paleta.

Tanto para compactar los cubos como los cilindros, o las vigas, los vibradores de inmersión deben tener una frecuencia por lo menos de 7 000 vibraciones/minuto y un dispositivo para fijar el molde a la mesa.

5.9.4 *Ejecución.* Se llena el molde cilíndrico de 150 mm x 300 mm. Dicho molde debe ser tratado con aceite para que la probeta se desprenda fácilmente. Para hormigón compactado en obra, se debe llenar el molde en dos capas, utilizando el dispositivo de embudo y el vibrador. La superficie se iguala con la paleta.

Para hormigón no compactado en la obra, se debe llenar el molde en tres capas aproximadamente iguales y compactar cada capa con 25 golpes de la varilla, uniformemente distribuidos sobre la superficie. El curado se hace según lo indicado en la sección 5.9.2.

5.9.5 *Probetas de vigas.* Para realizar ensayos de la resistencia a la flexión, es necesario hacer probetas en forma de vigas, con dimensiones mínimas de 150 mm x 150 mm en sección y con una longitud de 600 mm para agregados de tamaño nominal de 31,5 mm. Para agregados de tamaño nominal de 63 mm, las dimensiones son mínimo de 200 mm x 200 mm x 750 mm.

Los moldes de vigas pueden ser compactados por golpes de la varilla, en dos capas de igual espesor o por medio de un vibrador, llenando el molde de una sola vez.

Cuando se utiliza la varilla de compactación, el molde de 150 x 150 x 600 mm debe compactarse con 100 golpes por capa, igualmente distribuidos sobre toda la superficie, y para el molde de 200 mm x 200 mm x 750 mm, con 150 golpes por cada capa.

Las vigas deben sacarse de sus moldes después de 24 horas y antes de 48 horas, y el curado debe hacerse según las disposiciones de la sección 5.9.2.

5.9.6 *Transporte de probetas.* En caso de que se deba transportar las probetas hasta un laboratorio, se deben sacar las probetas a las 48 horas de sus moldes y colocarlas en una caja rígida de madera u otro medio de transporte adecuado, y llenar la caja después de la colocación de la probeta, con aserrín húmedo, arena húmeda, u otro material de embalaje húmedo.

Cuando la probeta llegue al laboratorio, se debe guardarla directamente en el tanque o cuarto de curado.

5.10 Determinación de la resistencia de las probetas.

5.10.1 *Resistencia del cubo.* Se saca el cubo del tanque de agua o del cuarto de curado y se limpia de suciedades y agua, sin dejar rebabas. Las rebabas pueden retirarse por medio de una piedra de pulir.

Antes de la prueba se determina su densidad (5.8). Después de la limpieza de las placas de la prensa hidráulica se coloca el cubo en forma céntrica sobre las placas.

En caso de que se necesiten placas o bloques adicionales para adaptar la prensa, estos elementos deben ser construidos simétricamente en las direcciones horizontales y colocados en forma centrada en la prensa hidráulica.

Los bloques o elementos adicionales deben tener una rigidez y resistencia a la compresión mucho mayor que las probetas de hormigón.

El lado del cubo por el que se ha fundido al mismo en su molde se llama *lado de fundición.* Este lado de fundición se orienta hacia un lado de la máquina, de preferencia siempre al mismo lado, que puede ser uno de los soportes de la prensa.

La placa de compresión superior se coloca encima del cubo en forma bien centrada y se aplica la carga hasta que el conjunto y la bisagra de la bola esté bien fijada.

5.10.2 Una vez que el cubo está en posición correcta, se puede aumentar rápidamente la carga hasta la mitad del valor de la resistencia estimada. Después se debe aumentar constantemente la carga con una velocidad entre 0.2 N/mm^2 y 0,5 N/mm^2 por segundo hasta la ruptura total (2-5 kgf/cm^2 por segundo). Cuando un momento antes de la fractura existe una deformación considerable, **no** se debe cambiar la regulación de la carga.

La resistencia a la compresión es el valor más alto indicado por la prensa.

La resistencia se anota en N/mm² $\frac{carga\ de\ rotura\ en\ N}{sección\ en\ mm^2}$

5.10.3 *Ejemplo de cálculo.*

La carga de la rotura es 1 040 kN (1kN - 1 000 N)

La sección del cubo es 158 x 158 = 25 000 mm²

La resistencia a la rotura del cubo es $\frac{1040000}{25000} = 41{,}6\ N/mm^2$

Cuando el manómetro de la prensa indica la carga de compresión en toneladas, se debe multiplicar dicho valor por 9 810 (ltf = 9 810 N).

5.10.4 *Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros.*

El cilindro debe ser aplastado en la dirección de su longitud axial. Según el tipo común del molde utilizado, el cilindro tiene un lado de fundición que no tiene un acabado adecuado para ponerlo directamente en la prensa. Antes de revestirle, se determina su densidad. Por esta razón, se debe hacer un revestimiento de los extremos del cilindro con una resina especial que tenga mayor resistencia que la del hormigón. Esta resina de azufre se calienta a una temperatura de 130°C hasta 140°C, para fundirlo. Una vez fundido, se coloca una cantidad en un molde especial y enseguida se coloca el cilindro de hormigón verticalmente en el mismo molde. Se debe evitar el contacto con el agua, porque ésta se evapora y puede formar huecos o porosidades.

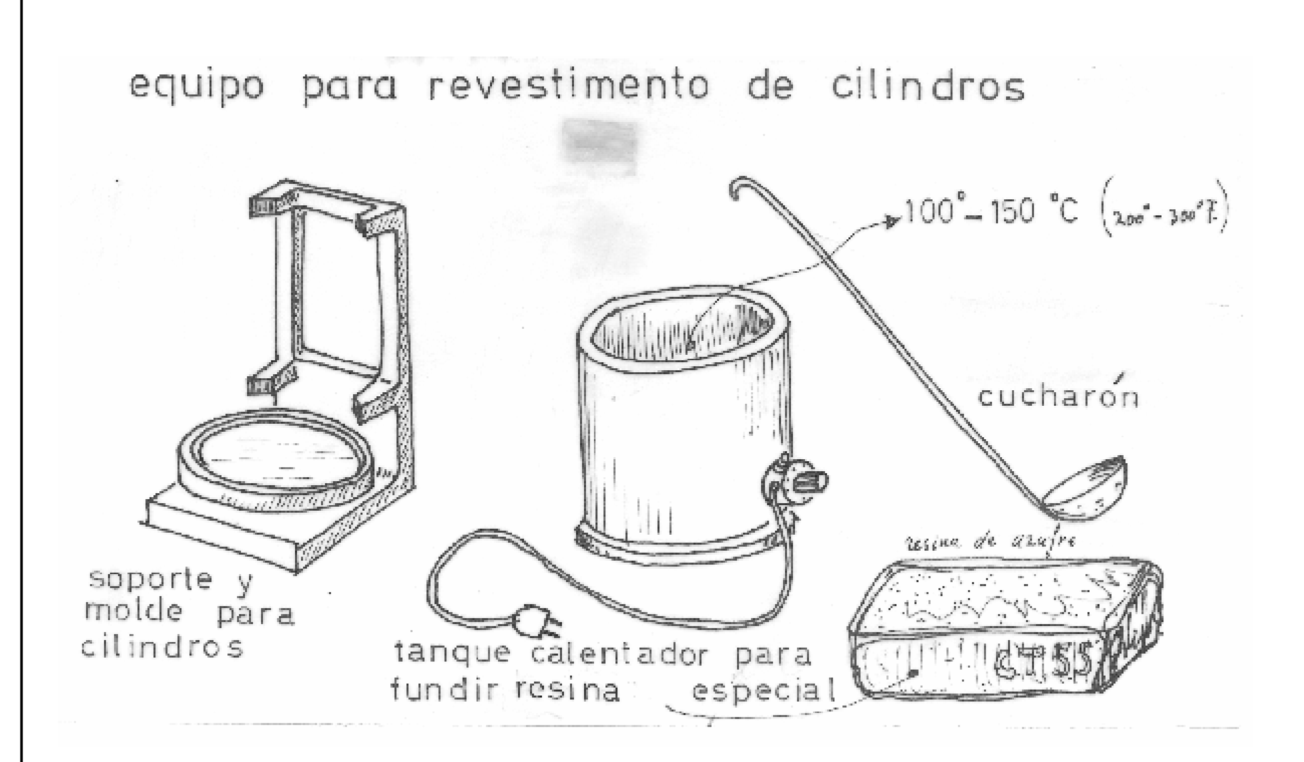
Para obtener resultados confiables, se recomienda revestir ambos lados del cilindro de este modo. Este revestimiento también debe hacerse con un núcleo cilíndrico obtenido de una obra ya fraguada.

El cilindro así revestido se coloca en posición centrada en la prensa. A fin de asegurar un buen centramiento del cilindro, se puede referir a las placas de la prensa que generalmente tienen círculos concéntricos grabados en la parte inferior y superior.

Luego se procede según la sección 5.10.2.

Cuando se ha fracturado el cilindro, se puede separar con un martillo la resina del hormigón y utilizar nuevamente esta resina después de haberla fundido nuevamente.

No se recomienda utilizar la resina de azufre más de 5 veces.



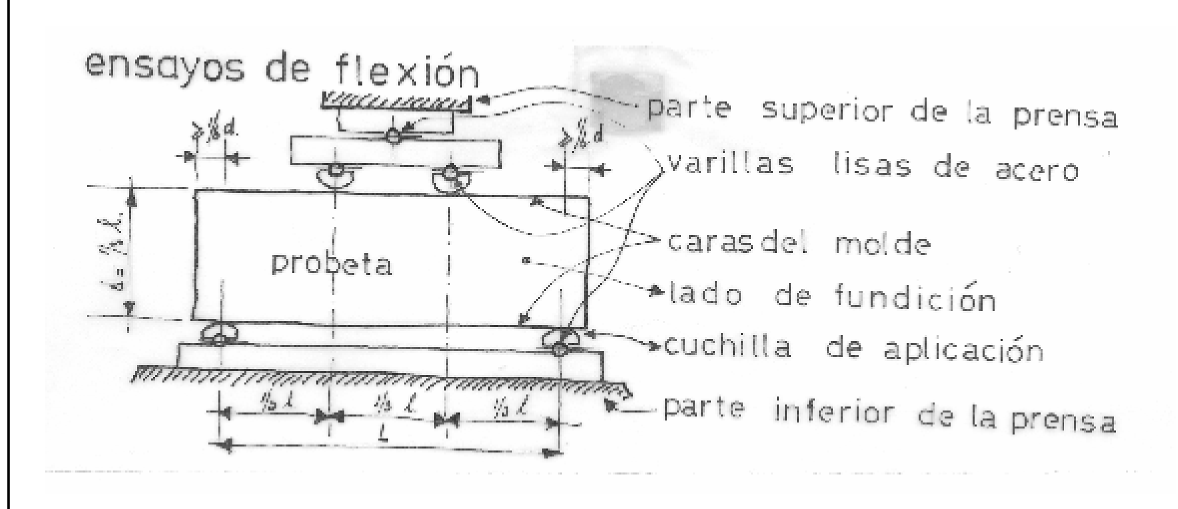
El revestimiento de los cilindros también se puede hacer con un mortero de cemento muy fuerte o con un mortero de yeso de alta resistencia. Los revestimientos son acabados con una hoja de vidrio que se coloca perpendicularmente al eje del cilindro. Se debe evitar el secado. El revestimiento con un mortero arena-cemento necesita un tiempo de fraguado adecuado para asegurar una mayor resistencia que el de la probeta.

5.10.5 *Ensayos de flexión. Carga dividida.* Según los tamaños nominales de los agregados, se tienen dos tipos de probetas de vigas:

a) tamaño nominal de 31,5 mm; dimensiones: 150 mm x 150 mm x 160 mm;

b) tamaño nominal de 63 mm; dimensiones: 200 mm x 200 mm x 750 mm.

Las probetas se conservan en la forma indicada anteriormente y se ensayan de modo que las fuerzas se apliquen perpendicularmente a las caras de cada probeta que quedaran en contacto con las paredes del molde.



Se asienta la probeta en las cuchillas de apoyo en forma bien centrada y se hace descender las cuchillas superiores a las posiciones de 1/3 de la luz. El contacto de las cuchillas de apoyo con los puntos de carga de la probeta debe ser perfecto. Si las superficies no son perfectas, deben rectificarse.

Se aplica la carga a una velocidad no mayor de 0,2 N/mm^2 por segundo (0,2 Mpa/s).

5.10.6 Cuando la ruptura total se ha desarrollado en el tercio central de la luz, se calcula el módulo de rotura según la ecuación siguiente:

$$T = \frac{P.l}{b.d^2}$$

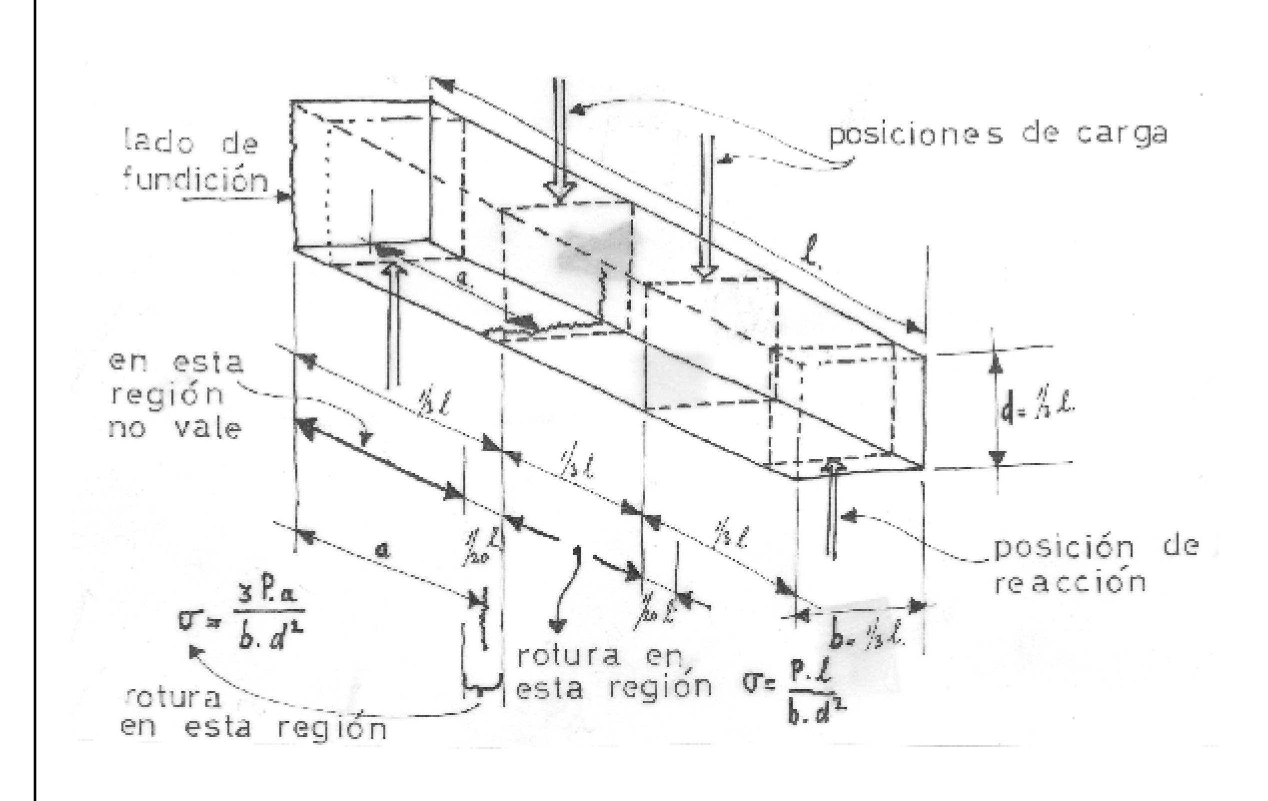
pero cuando la rotura se ha desarrollado dentro de 1/20 1 fuera del tercio central de la luz, se calcula el módulo de rotura según la ecuación siguiente:

$$T = \frac{3P.a}{bd^2}$$

Siendo:

- T = tensión de rotura en N/mm^2 (Mpa).
- P = carga máxima de rotura, en N.
- l = longitud de la probeta, en mm.
- b = ancho promedio de la probeta, en mm.
- d = espesor promedio de la probeta, en mm.
- a = distancia entre la línea de rotura y el soporte más cercano, medida en la línea central de la cara inferior de la probeta.

Cuando la rotura ocurre fuera de 1/20 1 al exterior del tercio central, la prueba no tiene ningún valor.



5.10.7 *Informe.* Los resultados se presentan redondeados a las unidades indicadas y deben ser acompañados de las siguientes indicaciones complementarias:

a) número e identificación de la probeta,

b) dimensiones de la probeta en mm y densidad en kg/m^3,

c) fecha de la mezcla y del ensayo,

d) edad de la probeta (días) y resistencia en N/mm^2,

e) condiciones de conservación,

f) tipo de rotura cuando es diferente del común,

g) defectos determinados en la muestra.

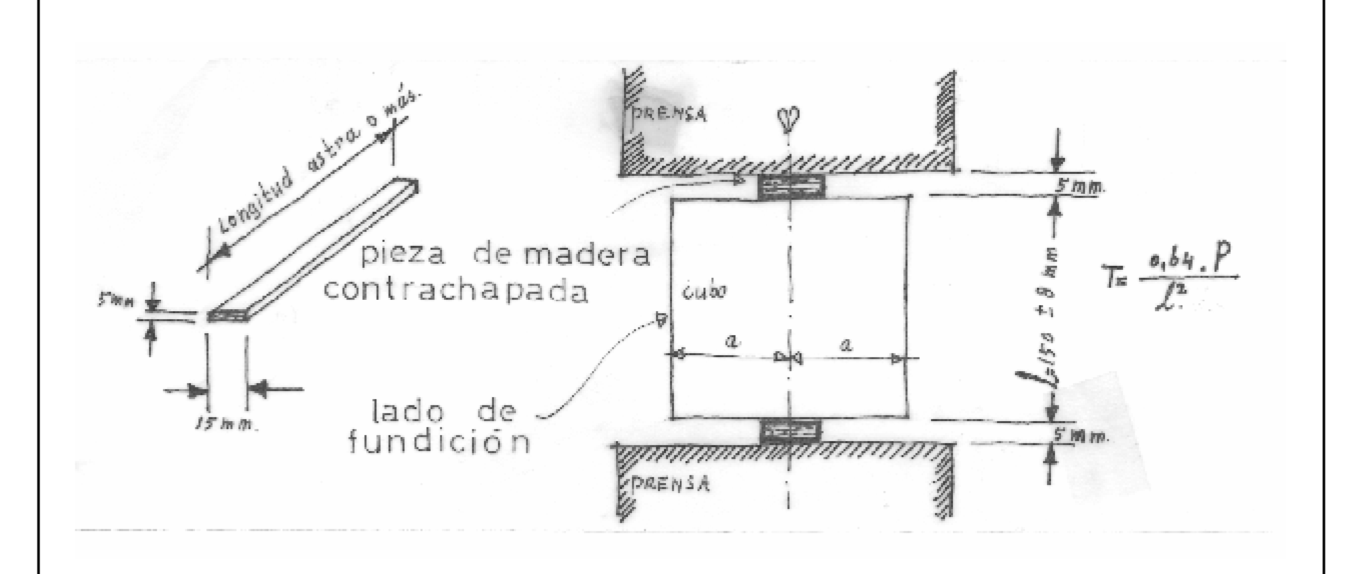
5.11 Determinación de resistencia al astillamiento (hendidura, resquebrajadura).

5.11.1 *Ejecución para cubos.* Después de haber limpiado el cubo, se coloca un pedazo de madera contrachapada sobre la parte inferior de la prensa, encima se coloca el cubo con la cara de fundición en dirección vertical a las placas de la prensa y encima del cubo otro pedazo de madera contrachapada. Los tamaños de las maderas contrachapadas son: longitud igual a la arista del cubo o más, por 15 mm de ancho y 5 mm de espesor, con tolerancia de 0,5 mm

Es importante que las maderas contrachapadas estén bien centradas, así como el cubo mismo, y que los lados superior e inferior queden paralelos con los planos de la prensa.

El incremento de la carga es 30 - 70 Mpa/s (0,03 - 0,07 N/mm^2 por s). La resistencia al astillamiento se calcula a base de la carga máxima registrada.

$$T = \frac{0{,}64 \; x \; c\,arga \; máxima \; en \; N}{superficie \; sección \; cubo \; en \; mm} \qquad (exp\,resado en N/mm^2$$



5.11.2 *Ejecución para el cilindro de 150 x 300 mm.* En algunos casos, la longitud del cilindro es mayor que el ancho de las placas de la prensa y es necesario adaptar la prensa con otra placa o bloque que sea plano, con una tolerancia de 0,025 mm sobre 100 mm y que tenga un espesor igual o mayor que la distancia entre el exterior de la prensa y el punto extremo del cilindro.

Antes de colocar el cilindro en la prensa, se debe dibujar un diámetro exactamente en el centro de la cabeza del cilindro, para ayudar a su colocación precisa en la prensa.

El cilindro se coloca encima de un pedazo de madera contrachapada que tiene una longitud igual o un poco mayor a la longitud del cilindro con una sección de 3 mm x 25 mm ± 0,5 mm.

Un pedazo de madera contrachapada se coloca exactamente centrada en la prensa y debajo del cilindro. La línea del diámetro dibujada en la cabeza debe ser exactamente vertical.

Un segundo pedazo de madera contrachapada se coloca encima del cilindro y se fija la cabeza de la prensa. Una vez bien colocado el cilindro, se aplica una carga con un incremento de 30 - 70 Mpa/s (0,03 - 0,07 N/mm^2 por segundo) hasta la rotura.

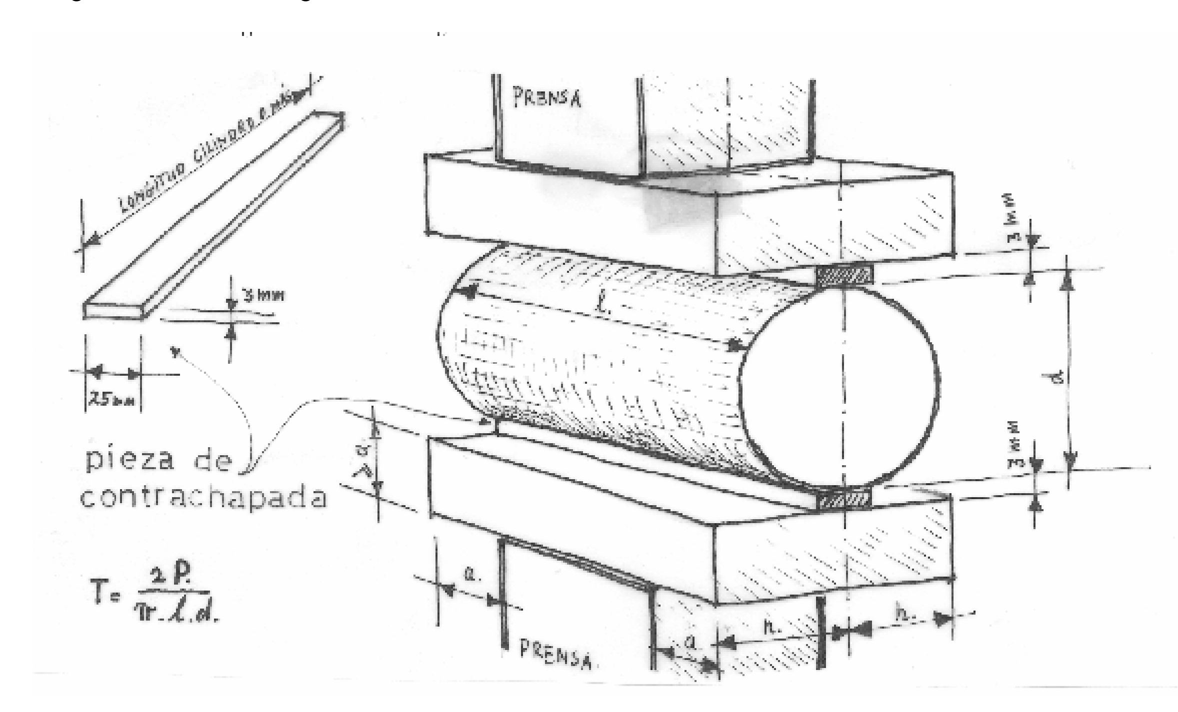
El cálculo de la resistencia al astillamiento o hendedura se hace con la siguiente fórmula:

$$T = \frac{2P}{\pi \, . l \, d}$$

Donde:

T = resistencia al astillamiento, en N/mm^2.
P = carga total máxima, en N.
1 = longitud del cilindro, en mm.
d = diámetro del cilindro, en mm.

Para la ejecución de esta prueba, es importante que los lados largos del cilindro sean rectos y no tengan deformación alguna.



5.11.3 Los datos del informe deben incluir, aparte de los datos mencionados en la sección 5.10.7, los siguientes:

a) la resistencia al astillamiento en N/mm^2,

b) el porcentaje de agregados gruesos que se rompieron según estimación.

5.12 Control de las medidas y planitud de las probetas, moldes y de las prensas hidráulicas.

5.12.1 *Dimensiones del cubo.* Las dimensiones del cubo se determinan con un calibrador de regla que permita una exactitud de 0,1 mm. Cuando la diferencia de la medida de la arista es ≤ 1% del valor nominal del cubo, se puede utilizar el mismo valor nominal en el cálculo de la resistencia. Cuando la diferencia con el tamaño nominal es mayor que 1%, se debe rectificar el molde y determinar la resistencia del cubo de hormigón en base de su sección promedio, según las medidas reales.

Este valor promedio se calcula a base de los valores de la superficie inferior y superior, según la posición durante la prueba.

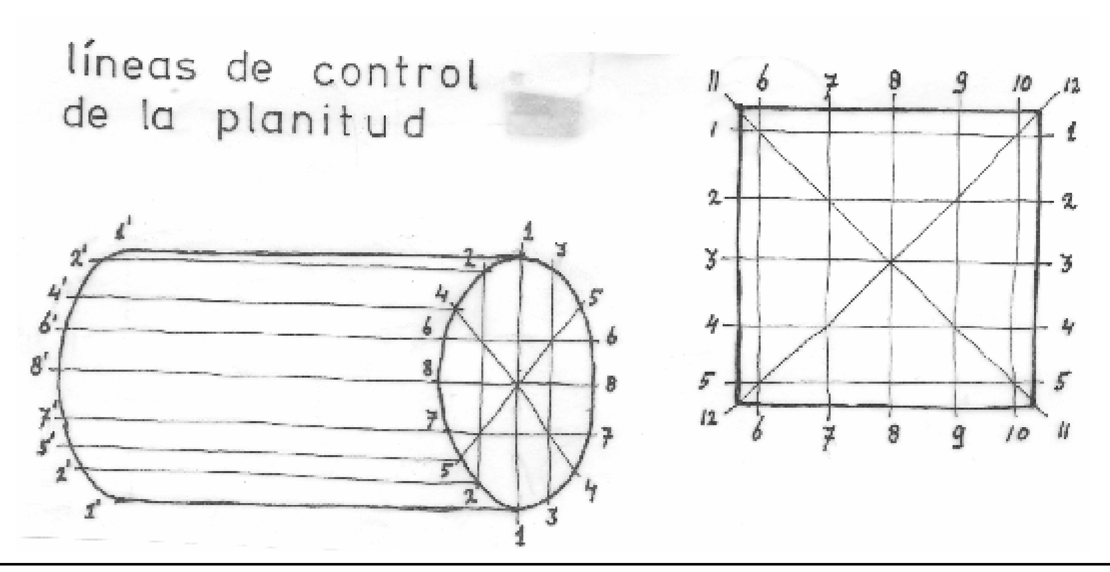
5.12.2 *Perpendicularidad del cubo y cilindro.* La perpendicularidad del cubo o cilindro se controla con una escuadra y un juego de láminas de calibración. Sobre una longitud de 150 mm, la diferencia de la perpendicularidad no puede ser mayor a 1,3 mm; o sobre una longitud de 300 mm, no más de 2,6 mm, esto es, igual a un ángulo máximo de 0,5°.

5.12.3 *Planitud del cubo y del cilindro.* Sobre la superficie de ensayo del cubo o cilindro de hormigón se coloca una regla de metal de 300 mm o 150 mm de longitud y con un medidor de espesor se controla que en ninguna parte el medidor pueda pasar entre la regla y el hormigón.

Cuando pueda pasar el medidor, se debe rectificar y limpiar el molde para después controlarlo nuevamente.

Las exigencias del planitud de 0,5 mm sobre 100 mm son iguales para los lados de ensayo de la probeta como del molde respectivo.

Se controlará la superficie en forma sistemática según el dibujo siguiente; primera línea 1-1, después línea 2-2, 3-3, etc.



5.12.4 *Planitud de las superficies de la prensa hidráulica.* Las exigencias de la planitud de las superficies de la prensa son iguales a las exigencias para los bloques o placas adicionales que se utilizan para adaptar la prensa a las medidas de la probeta.

La tolerancia de planitud es la mitad de la tolerancia de la probeta, o sea 0,025 mm, que se controla de igual manera que en la probeta.

Las superficies de la prensa y placas o bloques adicionales se controlan sistemáticamente según lo indicado en los dibujos anteriores.

Cuando puede pasarse el medidor de 0,025 mm entre la regla y la superficie, se puede pulir la superficie de la prensa o bloque.

También se debe controlar la dureza de las placas, después del proceso de pulir, que debe ser igual o mayor de 60 MRC (Dureza Rockwell).

Las superficies de los bloques o placas adicionales, así como las superficies de las partes inferiores y superiores de las prensas, pueden tener líneas grabadas, a intervalos regulares y de tal modo que se pueda fácilmente centrar las probetas, así como los elementos adicionales. Las líneas grabadas no pueden tener una profundidad mayor de 0,8 mm y un ancho mayor de 1,2 mm.

La tolerancia de planitud de las superficies originales de los bloques, placas y elementos de la prensa durante su fabricación debe ser de 0,012 5 mm.

5.13 Calibración del aparato medidor de aire de 8 litros de capacidad.

5.13.1 *Instrumental:*

a) dos tubos rectos y doblados con roscas para fijarlos en el aparto medidor de aire; los cuales son entregados con el aparato;

b) un inyector o perilla de caucho para inyección de agua;

c) una báscula con exactitud de 5 g, o probeta graduada en cm^3 .

5.13.2 *Ejecución:*

a) colocar el aparato exactamente en posición vertical, llenarlo con agua y sacar todas las burbujas de aire que queden contra las paredes interiores del mismo;

b) colocar el tubo recto en el interior de la tapa, en su lugar específico, por medio de la tuerca, debajo de una de las llaves de la tapa; colocar el tubo doblado en el exterior de la tapa encima de la llave que tiene el tubo recto debajo; el tubo doblado sirve para una mejor captación del agua que debe extraerse durante la calibración del aparato, sin desperdiciarla

c) colocar la tapa con las llaves abiertas sobre el recipiente inferior, fijarla herméticamente y llenar el aparato con agua a través de las llaves con el inyector del agua; girarlo hasta que salgan las burbujas de aire; el tubo recto que queda al interior debe también estar lleno de agua;

d) cuando el tubo está lleno de agua se cierran las llaves y se bombea aire en el tanque de presión hasta que el indicador del manómetro esté en la línea de comienzo (cero); entonces se aplastará la palanca y el indicador debe marcar cero; cuando el indicador no marca el cero y se ha comprobado previamente que no hay fugas o burbujas de aire en el aparato, se debe corregir la posición del número cero;

e) con mucho cuidado se abre lentamente la llave del tubo doblado de extracción y se deja fluir 80 g (80 cc) de agua del recipiente; eventualmente se aplasta un poco la palanca para aumentar la presión en el recipiente y facilitar la salida de agua; cuando se ha sacado 80 g de agua, se coloca el aparato en posición vertical y se deja escapar el aire a presión del recipiente y se cierran las llaves;

f) nuevamente se bombea hasta que el indicador del manómetro esté en la línea de comienzo y después se aplasta la palanca; ahora el indicador debe marcar el valor de 1% de aire, porque 80 cc es 1% de 81 = 8 000 cc;

g) este ensayo se repite con 160 cc (2%), 240 cc (3%), 320 cc (4%), 400 cc (5%), 560 cc (7%) y 800 cc (10%). Cuando el volumen del aparato no es de 81, es evidente que se debe adaptar el volumen porcentual de las extracciones de agua para la calibración respectiva.

5.14 Determinación de la temperatura del aire y del hormigón.

5.14.1 *Instrumental:*

a) termómetro de máxima y mínima,

b) caja para termómetro de máxima y mínima,

c) termómetro de suelo o con punta cónica,

d) sombrero protector para el termómetro de suelo,

e) grasa o aceite para transmisión de calor.

Requisitos.

El termómetro de aire (de máxima y mínima) debe colocarse en un lugar que esté libre de la influencia directa del sol, o reverberación solar o lluvia y en un lugar bien ventilado.

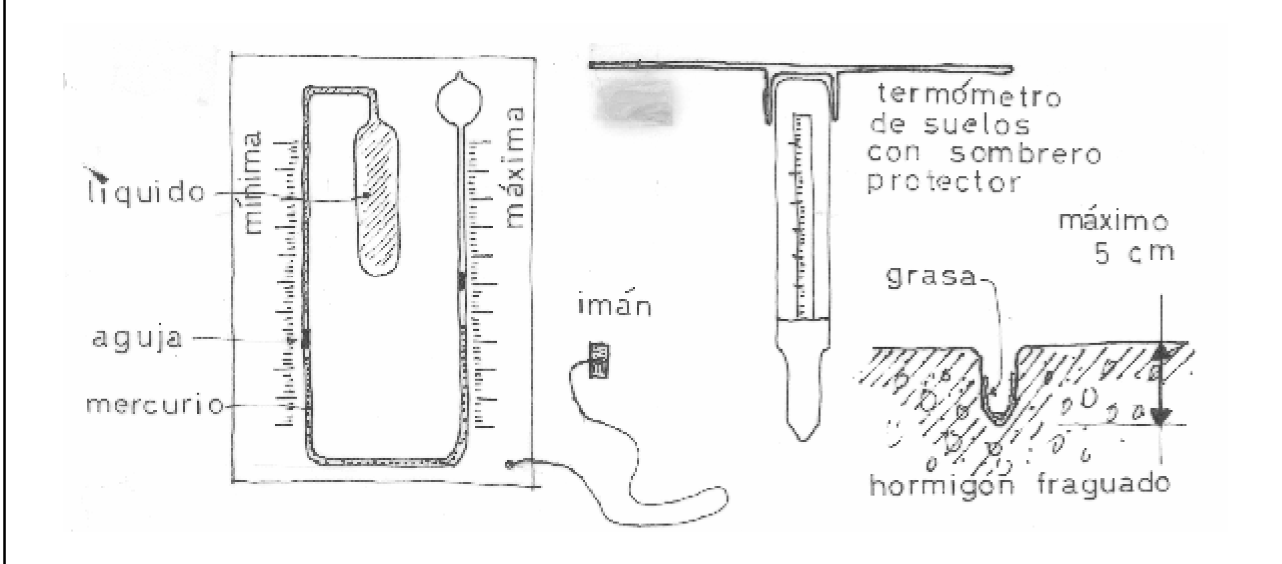
Tal lugar puede estar contra la parte alta de una columna libre en el edificio o en una cabaña especial que se ponga en el sitio de la obra.

El termómetro de máxima y mínima debe colocarse a una altura de 150 cm encima del terreno o losa. Una caja especialmente construida debe tener un techo aproximadamente de 1 m^2, bajo el cual haya una caja de madera aproximadamente de 40 x 40 x 40 cm, bien ventilada y pintada en blanco. Se deben evitar los rayos solares directos desde el Este u Oeste. En terreno abierto, es preferible poner la caja sobre un área con hierba, porque la reverberación del calor desde una superficie de piedra es alta.

5.14.2 *Ejecución.* En la medición de las temperaturas de aire se tomarán en cuenta las siguientes horas:

- comienzo del trabajo en la mañana,
- fin del trabajo en la tarde.

La temperatura mínima o máxima se lee abajo de la aguja respectiva y después de haberse leído una temperatura se coloca la aguja de nuevo encima del mercurio con la ayuda de un imán. La temperatura promedio es el promedio de la mínima y máxima.



La temperatura superficial del hormigón fraguado es muy importante para evitar daños por efecto del alto nivel de evaporación, un curado parcial acelerado o un humedecimiento superficial.

La temperatura de fundición no puede ser mayor a 35°C.

La temperatura de la superficie del hormigón se mide en la superficie misma del hormigón en un área que haya estado a la sombra durante 5 minutos.

La temperatura de la superficie del hormigón puede tomarse hasta una profundidad máxima de 5 cm utilizando un termómetro de suelos. Para asegurar una buena transmisión del calor al termómetro, se puede aplicar un poco de grasa o aceite en el hueco. El termómetro se debe proteger del asoleamiento directo por medio de un sombrero.

La temperatura de la superficie del hormigón se debe tomar regularmente máximo a intervalos de 2 horas, durante todo el día, a fin de que permita tomar medidas efectivas antes de un aumento excesivo de la temperatura.

CAPITULO 6.

TRÁMITE Y EVALUACION DE LAS OBSERVACIONES

6.1 Este capítulo está limitado a las observaciones que tienen que ver con el control de calidad del hormigón. Por control de calidad, en este aspecto, se entiende no solamente el control del producto final, como la probeta endurecida, sino también todos los ensayos sobre los productos básicos y los intermedios, así como también el proceso de producción.

El control de calidad se hace por medio de observaciones. A veces son observaciones directas, como por ejemplo: observar la homogeneidad del material, la trabajabilidad y color del hormigón, etc. Muchas veces se utilizarán instrumentos y otras ayudas para determinar la calidad. Por razones prácticas, es importante expresar el aspecto de calidad en un valor determinado.

La cuantificación en este sentido se hace por comparación de estándares internacionales.

Cuando se determina una longitud, ésta se compara (a través de varias fases intermedias) con el metro patrón. Cuando determinamos una masa, comparamos ésta con el kilogramo patrón. Estos valores estándares están guardados en el INEN, y son iguales a los estándares internacionales.

Con las observaciones y comparaciones se obtienen algunos valores, por ejemplo: las medidas, masa, temperatura, etc.

Excepto en casos sencillos, como contar una pequeña cantidad de piezas, los valores exactos son difíciles de determinar y las medidas únicamente dan aproximaciones de los valores exactos o teóricos.

El nivel de aproximación está determinado por el objetivo de nuestras mediciones.

Cuando se ordena construir una mesa de trabajo de dos metros, estamos conformes, que cuando la medida real, determinada con una medida común, varía entre 195 m y 20 cm.

En este caso se dice que el tamaño nominal es de 200 cm con tolerancia de ± 5 cm. La amplitud de la tolerancia es (200 + 5) - (200 - 5) = 10 cm. En otros casos se expresa la tolerancia en un porcentaje del valor nominal. Para el ejemplo de la mesa de trabajo sería 200 cm ± 2,5 %.

Cuando se trata de la planitud de los cubos se exige una planitud de 0,05 mm sobre 150 mm, o sea, una tolerancia de 0,03%, la cual implica que se debe verificar estos valores con instrumentos más precisos. Los resultados de las medidas y observaciones deben hacerse de tal modo que den una indicación justa de la precisión de la medición.

Cuando se determina el espesor de una hoja de metal con instrumentos de diferente exactitud implica que:

16 mm medida con precisión de 1 mm daría un espesor 15,5 hasta 16,5 mm;

16,2 mm medida con precisión de 0,1 mm daría un espesor 16,15 hasta 16,25 mm;

16,24 mm medida con precisión de 0,01 mm daría un espesor 16,235 hasta 16,245 mm.

Otros resultados deben calcularse antes de obtener los valores indicativos requeridos:

- los retenidos de los tamices deben calcularse en porcentajes,
- la resistencia a la compresión se determina dividiendo la fuerza total para la sección transversal del elemento,
- la densidad es la masa dividida para el volumen.

En estos cálculos pueden existir valores con muchas más cifras que las necesarias para su precisión.

Un cubo con sección de 22 500 mm^2 ha fallado a una fuerza máxima de 1 000 000 N, y la resistencia entonces es $\frac{1\,000\,000}{22\,500}$ = 44,444 4 N/mm^2. Este valor de resistencia se debe redondear a la primera cifra después de la coma.

Entonces: 44,444 4 N/mm^2 sería 44,4 N/mm^2
44,457 30 N/mm^2 sería 44,5 N/mm^2

Como 5 738 es más que 5 000, debe redondearse por exceso.

Cuando el valor termina en un 5, se hace el redondeo hasta el número par más cercano.

Entonces 44,45 sería 44,4 y 23,350 sería 24,4.

No solamente la exactitud de los instrumentos que se emplean determina la precisión, sino también el método por el cual se toma la muestra. Cuando se toma una serie de muestras de grava del mismo lote grande, se obtienen diferencias entre los varios resultados de algunos porcentajes. Por esta razón, no tiene mucho sentido expresar los resultados en décimas tratándose de un porcentaje.

Para otros resultados, también se obtiene una variación de valores, y, cuando las diferencias son pequeñas, se puede decir que la variación es pequeña, y así se obtiene una aproximación cercana al valor real. Para llegar a esta situación, se deben eliminar los aspectos indeseables que influyen en los resultados.

Por esta razón, siempre se debe ejecutar las pruebas según el mismo método normalizado. En la descripción de varios ensayos se ha considerado este aspecto, así como también la limitación de la precisión de medida sobre la veracidad de los resultados.

Por ejemplo: un cubo se ensaya sobre una prensa que tiene una precisión de carga de 1%. La carga administrada es 800 kN, lo que significa que puede ser 792 kN hasta 808 kN.

La tolerancia de la arista del cubo es también 1%. Para un cubo nominal de 150 mm puede ser 148,5 mm hasta 151,5 mm.

La resistencia real del cubo puede estar entonces entre:

$$\frac{808.000}{148,5 \, x \, 148,5} = 36,6 \; N / mm^2 \;\; y \; \frac{792.000}{151,5 \, x \, 151,5} = 34,5 \; N / mm^2$$

Mientras las tolerancias de la prensa o cubo no sean más del 1%, el valor de resistencia puede variar hasta en ± 3%, calculando con los valores extremos. Este riesgo no es muy grande, pero se debe considerar tal posibilidad.

6.2 El promedio. Cuando tomamos los valores de los ensayos, vemos que existe una variación debido a factores de medida, circunstancias del ambiente, diferencias en las muestras, etc.

Se puede determinar el promedio aritmético de una serie de valores, para lo cual se divide la suma de los valores por el número de valores.

Entonces:

$$\frac{10,10 + 9,9 + 9,8 + 10,05 + 10,00 + 9,75 + 9,9 + 9,95 + 9,85 + 10,01}{10}$$

= 9,935 que redondeado es 9,94

Igualmente, para analizar la muestra de arena o grava por tamices, se divide la muestra en dos partes y se determina el valor promedio de los dos resultados.

Para determinar la resistencia del hormigón se utiliza el promedio de una serie de resultados. En estos casos, el promedio es determinante y no necesariamente el valor más bajo.

6.3 Control de calidad del hormigón. El control del hormigón se hace por medio de las probetas elaboradas, según se ha explicado en el capítulo 5.

La cantidad de las probetas depende de la cantidad de hormigón que se ha fundido en un período. La mínima cantidad de probetas que se debe producir es la siguiente:

- 2 probetas cilíndricas o 3 cubos por cada clase de hormigón y por fundición;
- 2 probetas cilíndricas o 3 cubos por cada 120 m^3 o por cada 450 m^2 de superficie fundida.

Las probetas deben extraerse de mezclas o camiones diferentes y a intervalos de tiempo distribuidos durante el tiempo de fundición.

Ejemplos:

Fundición de columnas 8 m^3	- 3 cubos
Fundición de losa 180 m^3	- 6 cubos
Fundición 200 m^3 en dos días	- cada día 3 cubos

Fundición en un día tres clases de hormigón:

losa 80 m^3 - 3 cubos
paredes 25m^3 - 3 cubos
columnas 10 m^3 - 3 cubos

Cuando la losa tiene una superficie más grande que 450 m^2, se deben sacar 6 cubos (4 cilindros) para esa parte.

Una vez que se ha calculado el promedio de las resistencias a la compresión de las probetas, este promedio debe ser superior a los valores mínimos de resistencia a la compresión, indicados en la tabla de la Sección 5.9.

La diferencia entre el valor f'_c requerido y el valor de la resistencia promedio de las probetas depende de la tolerancia de los resultados y la variación que tienen los valores de pruebas, como está indicado en las tablas de la Sección 4.1.

Por ejemplo, para un hormigón estructural cuya resistencia mínima de diseño es 21 N/mm^2, se tienen los siguientes resultados de los análisis con probetas cúbicas, en N/mm^2 .

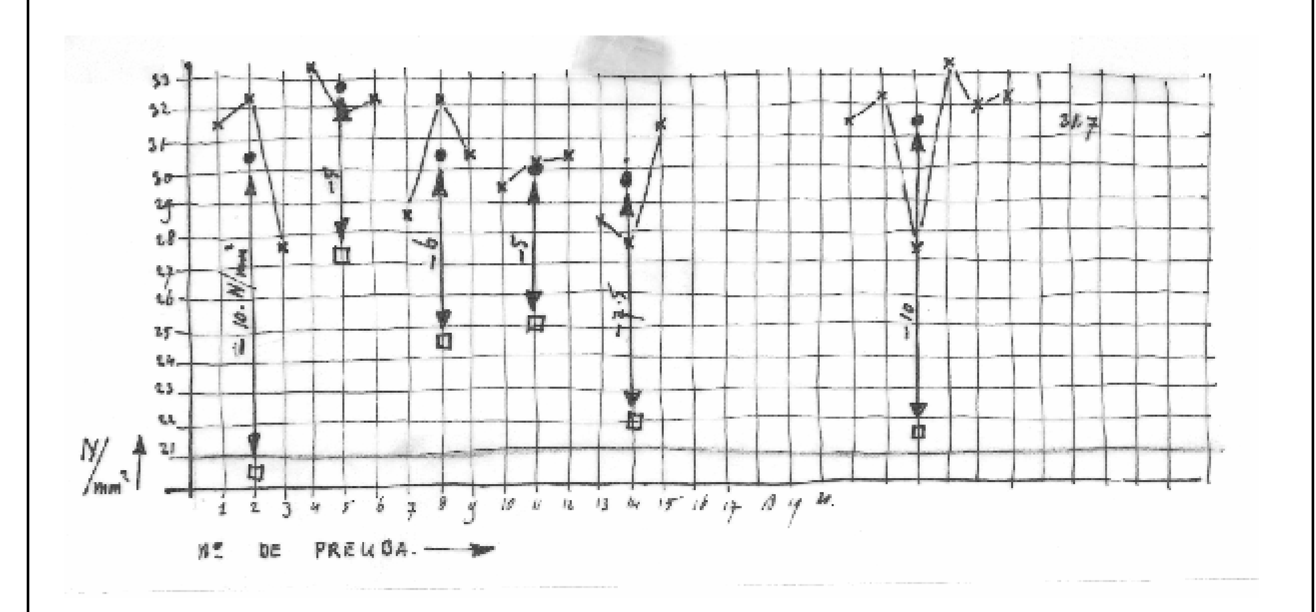
	1	2	3	4	5
HORMIGON	31,5 32,2 27,6	33,6 31,9 32,2	28,7 32,1 30,4	29,6 30,1 30,4	28,4 27,8 31,5
PROMEDIO	30,4	32,9	30,4	30,0	29,2
AMPLITUD DE DESVIACION	4,6	1,7	3,4	0,8	3,7
RESISTENCIA MINIMA DEDISEÑO	21 N/mm^2	21 N/mm^2	21 N/mm^2	21 N/mm^2	21 N/mm^2
EXCESO SEGUN AMIPLITUD DE DESVIACION (Sección 4.1)	+ 10	+ 5	+ 6	+ 5	+ 7,5
RESISTENCIA MINIMA PROMEDIO DE LAS PROBETAS	31 N/mm^2	26 N/mm^2	27 N/mm^2	26 N/mm^2	28,5 N/mm^2

En este ejemplo se muestra que, debido a la gran variación de los resultados, el primer hormigón no cumple con la resistencia mínima requerida, mientras que el promedio es mayor para los hormigones No. 2, 3 y 4.

Este ejemplo indica también la importancia de producir un hormigón de una resistencia constante, lo cual naturalmente exige un mejor control de calidad de los materiales.

6.4 Diagrama de control de las probetas. Es recomendable registrar los datos de las resistencias de las probetas en un diagrama que facilite la lectura.

En el diagrama debe verse también la variación de los valores, así como su relación con la resistencia mínima requerida.



En esta gráfica se muestra cómo, cuando se hacen más probetas del mismo lote de hormigón fundido, se puede evaluar mejor la importancia de algunos valores extremos sobre el total

Cuando la variación de valores es conocida, se puede también dibujar una línea de control en el diagrama que queda, por ejemplo: 6 N/mm^2 sobre el valor de la resistencia del diseño.

Cuando los puntos promedios quedan sobre esta línea de control, la calidad del hormigón debe ser aprobada.

Cuando algunos promedios de pruebas de lotes de hormigón quedan bajo la línea de control, es necesario controlar el hormigón en obra, para ver si éste ha alcanzado el mínimo de la resistencia requerida para el valor establecido de diseño.

CAPITULO 7.

ANALISIS EN OBRA

El análisis en obra se puede hacer a través de métodos destructivos y no destructivos.

De los métodos no destructivos existen dos principales:

a) martillo repercusor,
b) ondas ultrasónicas.

7.1 El martillo repercusor. Para la ejecución de este análisis en obra se utiliza el martillo "Schmidt ".

Con este martillo se mide el valor de reverberación de una masa que es golpeada contra la superficie del hormigón.

El valor de reverberación R depende de los siguientes valores:

a) superficie del hormigón,
b) ángulo del martillo con relación a la horizontal,
c) estructura del hormigón hasta una profundidad de aproximadamente 3 cm.

La corrección que se debe aplicar con relación al ángulo con la horizontal está indicada en el aparato por medio de un gráfico.

Como los valores obtenidos indican únicamente datos sobre la capa exterior de 3 cm, los mismos pueden estar influenciados por una varilla de acero, un pedazo de grava grande o una región arenosa, y pueden variar considerablemente.

Para evitar este efecto, se debe tomar una serie de 9 ensayos dentro de un área de 15 cm x 15 cm, pero ninguno de estos ensayos puede hacerse en el mismo punto. Por ejemplo, los resultados son: 29, 28, 36, 26, 29, 31, 33, 30, 34. Los valores obtenidos se ordenan del más pequeño hasta el más grande: 26, 28, 29, 30, 31, 33, 34, 36 y se escoge el valor central de la serie. En este caso, 30 es el valor R que debe compararse con la gráfica de correlación. (Este valor no es el promedio).

Cuando se utiliza el martillo, es importante que se busque una superficie plana, lisa y densa. Con la ayuda de una piedra de carborundo se puede igualar la superficie. En el caso de la utilización del martillo para hormigones ligeros u otros hormigones especiales, para los que no existe una gráfica de correlación, se puede hacer tal gráfica a través de ensayos sobre 100 cubos.

Los cubos se colocan en la prensa hidráulica y se les somete a una carga de 100 kN. En cada uno de los dos lados opuestos se hace nueve veces el ensayo con el martillo y se determina el promedio de los dos valores centrales de las series obtenidas: Valor R.

Después se hace la prueba de resistencia del cubo y se anota la resistencia con el valor R respectivo.

Así se analizan 100 cubos y se obtiene la correlación para el tipo de hormigón especial.

El martillo Schmidt se puede calibrar por medio de un yunque especial

7.2 Análisis por medio de ondas ultrasónicas. Con este aparato se determina la velocidad de impulsos ultrasónicos a través del hormigón. Esta velocidad está en relación al módulo de elasticidad del material. Como también el módulo de elasticidad del hormigón es un factor determinante de su resistencia, se puede obtener la indicación de la resistencia midiendo la velocidad de transmisión de las ondas.

Con modernos equipos se puede determinar fácilmente la velocidad de estas ondas ultrasónicas en el hormigón. Un dispositivo digital indica el tiempo de la onda entre el emisor y el receptor en microsegundos (μ seg) o décimas de microsegundos, con una precisión de 0,5 (μ seg). Un hormigón con resistencia cúbica de 35 N/mm^2 puede tener una velocidad de transmisión de ondas de aproximadamente 4 500 m/seg.

Cuando se toma la medida de una pared de 250 ± 2,5 mm y obtiene el resultado de 56 μseg, la velocidad de las ondas está entre:

$$\frac{252{,}5\,x\,10^{-6}}{55{,}5\,x\,10^{-6}} = 4{,}55\,km/seg$$

$$\frac{247{,}5\,x\,10^{-6}}{56{,}5\,x\,10^{-6}} = 4{,}38\,km/seg$$

(Diferencia = 0,17 km/seg).

Esta diferencia significa una variación de la resistencia cúbica de 5 N/mm^2, siendo 37 N/mm^2 y 32 N/mm^2, respectivamente.

Es importante hacer las medidas fuera de las regiones de la armadura, porque ésta tiene influencia sobre los resultados.

Para el cálculo de la resistencia se pueden utilizar los diagramas de correlación que se adjuntan al aparato.

7.3 Cuando se exige una investigación adicional del hormigón fundido y fraguado, no se pueden sacar conclusiones a base de un tipo de análisis como el martillo Schmidt o las ondas ultrasónicas:

a) la investigación con el martillo debe combinarse con el ensayo por lo menos de 3 núcleos cilíndricos extraídos del mismo hormigón;

b) la investigación ultrasónica en combinación con el martillo y el ensayo de 3 núcleos cilíndricos;

c) investigación a base de extracción de núcleos cilíndricos;

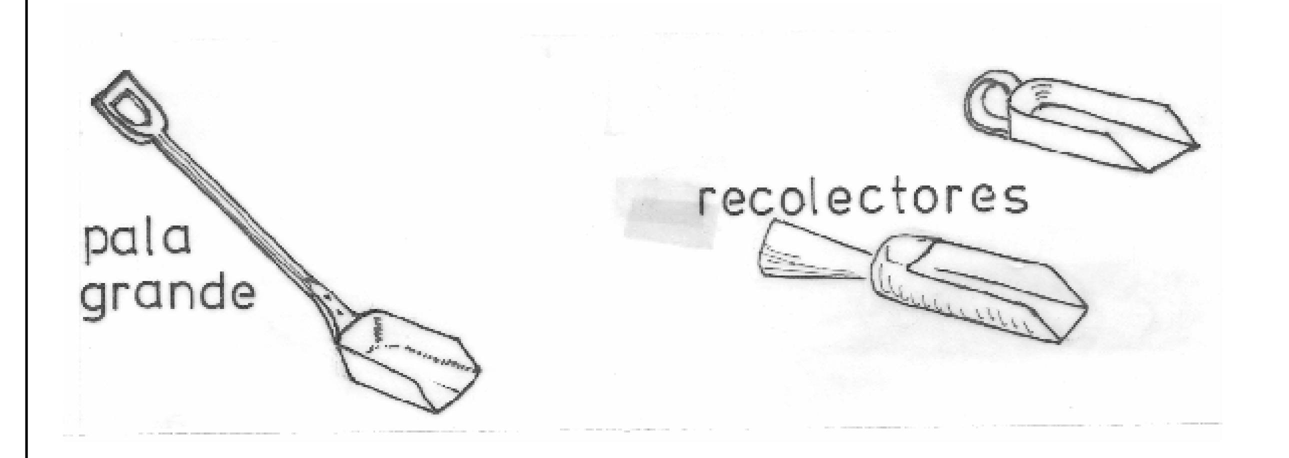
d) investigación de ensayos de flexión

En coordinación con los interesados y el constructor, se debe determinar en qué lugares se deben sacar los cilindros de referencia. Cerca de estos lugares se toman medidas con el martillo o con ondas ultrasónicas y se establece una tabla de referencia. En base de la tabla de referencia y las gráficas de correlación, se pueden determinar los valores en el resto de la construcción.

ANEXO A

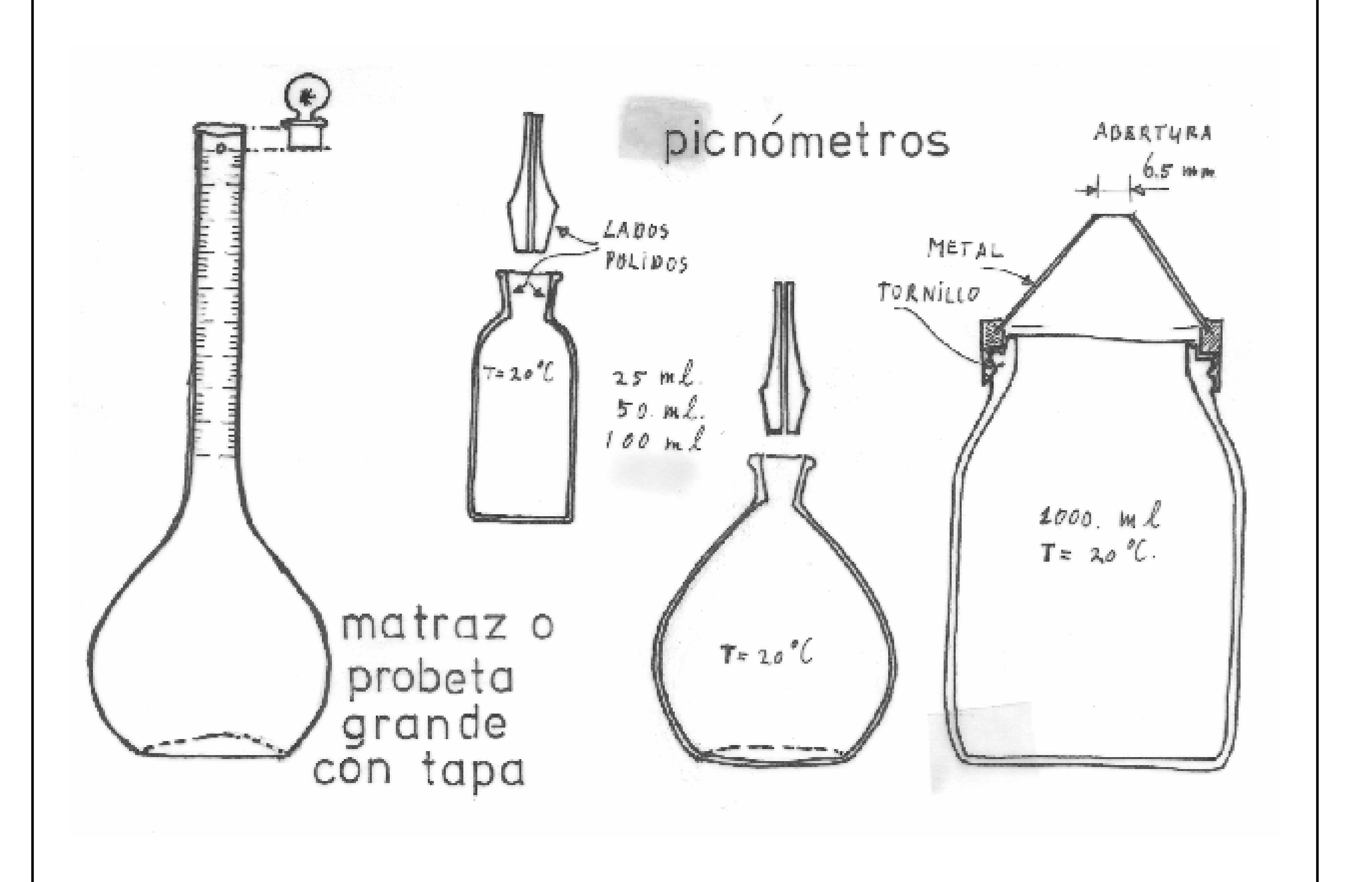
Equipo mínimo de un laboratorio básico para hacer ensayos indicados en el texto anterior.

ARTICULO	DESCRIPCION DEL ARTICULO	PARRAFO CORRESPONDIENTE
1	Envases metálicos o plásticos de 10 kg para almacena- je y envío de muestras de cemento. Construcción hermética y resistente a presiones atmosféricas.	1.4
2	Idem como Art. 1, pero envases de 1 kg.	1.4
3	Pala grande de muestreo con lados altos para agregados.	2.2
4	Recolector pequeño de muestreo con lados altos para finos y arena.	2.2



5	Paleta y cepillo para recoger agregados finos.	2.2
6	Recipientes rígidos de 10 y 5 litros y con abertura de superficie plana.	2.3
7	Balanza que tenga capacidad de 10 kg o más con una precisión de 1 g.	2.3

8	Balanza que tenga capacidad de 2 kg o más con una precisión de 0,1 g.	2.3
9	Probeta de vidrio claro con indicaciones de volumen, 10 ml, 25 ml, 50 ml, 100 ml, 250 ml, 500 ml, 1 l, 2 l.	2.3.2
10	Equipo para secar agregados: horno u olla grande y calefacción de gas o eléctrica.	2.3.2
11	Picnómetros 25 ml, 50 ml, 100 ml, 1 l.	2.3.3



12	Termómetro de -10 hasta + 110°C, precisión de 1°C.	2.3.4
13	Termómetro de 0 hasta 200°C, precisión de 1°C.	2.3.4

14	Canasta de alambre inoxidable con tamiz de 3 mm.	2.3.4
15	Paños de un material absorbente que no pierdan fibras del tejido.	2.3.4
16	Tamices INEN 63-31,5-16-8-4-2-1 mm-500 µm 250 µm - 125 pm y platos para tamices.	2.6.1
17	Tamices INEN 22,4 mm - 11,2 mm.	2.6.1
18	Brochas finas para extraer las partículas de los tamices.	2.6.2
19	Punzón de latón de diámetro 1,5 mm ± 0,2 mm y con punta redondeada, dureza Rockwell HR 65-67.	2.7.1
20	Máquina de "Los Angeles", con contador de rotaciones. 30 - 33 revoluciones por minuto. Esferas de acero correspondientes.	2.7.1
21	Tamiz 1,4 mm para separar los finos después del ensayo de la máquina de "Los Angeles" (ASTM No. 14).	2.7.2
22	Tamiz 63 m para determinar el contenido de limo para agregados. Tamiz ASTM No. 230.	2.8.1
23	Solución al 3% de Hidróxido de Sodio NaOH para ensayo del contenido de impurezas orgánicas.	2.8.2
24	Tarjetas de colores estándar Gardner No. 5 - 8 - 11 - 14-16.	2.8.2.1
25	Frascos de vidrio claro resistente al fuego abierto (tipo Pyrex o matraz Erlenmeyer).	2.8.2.6
26	Balanza analítica con una precisión por lo menos de 0,1 mg.	2.8.2 2.8.3
27	Balanza con capacidad hasta 50 kg con precisión de 10 g.	2.8.3

28	Embudo.	2.8.3
29	Papel filtro Whatman No. 42 o equivalente.	2.8.3
30	Medidor eléctrico de Ph para determinar alcalinidad de la solución agua-cloruro.	2.8.3
31	Pipetas con suficiente exactitud para medir 0,1 cm^3.	2.8.3
32	Crisol de Gooch, filtro con filtro adicional de asbesto, resistente al secado al horno.	2.8.3
33	Reactivos: Acido Nítrico en concentraciones HNO_3 1:1 y HNO_3 0,01 N.	2.8.3
34	Reactivos: Solución de Nitrato de Plata ($AgNO_3$) en concentración 0,1 N.	2.8.3
3 5	Aerómetro. Instrumento para medir la densidad de líquidos.	3.2
36	Mezcladora de mortero de hormigón para 50 litros de material.	3.5.3.1
37	Prisma de acero 200 mm x 200 mm de base y 400 mm de altura con fondo perforado y lámina de plástico para tapar el fondo de 200 mm x 200 mm.	5.2.1
38	Paleta de albañil 100 mm ancho y 160 mm de longitud.	5.2.1
39	Vibrador de inmersión o vibrador de mesa para hormigones.	5.2.1
40	Cono de Abrams de diametros 100 mm, 200 mm y altura 300 mm.	5.3.1
41	Varilla de compactación de longitud 600 mm, diámetro 16 mm, punta redondeada.	5.3.1
42	Mesa para sacudir de 700 mm x 700 mm, con altura de caída de 40 mm.	5.4.1

43	Recipientes de construcción rígida y borde superior plano de 8 hasta 10 litros.	5.5.2.1
44	Hoja de vidrio de 250 mm x 250 mm x 6 mm.	5.5.2.1
45	Aparato medidor del contenido de aire por presión con sistema de bombeo y manómetro, de 8 litros.	5.7.1.1
46	Medidor del contenido de aire tipo invertible. Capacidad 5 litros.	5.7.2.1
47	Moldes cúbicos para probetas de 150 mm de arista. Moldes individuales y juegos de tres.	5.9.1
48	Moldes cilíndricos. Diámetros 150 mm y longitud 300 mm para probetas.	5.9.3
49	Prensa hidráulica para los ensayos de resistencia de las probetas. Capacidad 50 N/mm^2 o más. Posibilidad de aumentar la presión con 0,2 hasta 0,5 Mpa/seg.	5.10.2
50	Equipo y material para revestimiento de probetas cilíndricas de 150 x 300 y núcleos cilíndricos de hormigón.	5.10.4
51	Reglas metálicas de 150 mm y 300 mm para análisis de planitud de superficies.	5.12
52	Escuadra de 150 mm y 300 mm de lados para medir la perpendicularidad de los moldes y probetas.	5.12
53	Juego de medidores de un espesor de 1, 3 mm, 0,05 mm, 0,025 mm y 0,012 5 mm.	5.12
54	Martillo repercusor tipo Schmidt para análisis no destructivos de hormigón fraguado con yunque de calibración.	7.1
55	Las soluciones químicas indicadas en párrafos 2.8.2.5 a 2.8.2.7 para el ensayo de Acido Fúlvico.	2.8.2.5 a 2.8.2.7

GUIA DE PRACTICA

LABORATORISTA DE HORMIGONES

Bases de estudio para la formación del Laboratorista de Hormigones

RECONOCIMIENTO:

Este documento, preparado a base del texto *Beton Laborant BV CB 2-L* del *Betonvereninging, post bus 61, 2700 AB-Zoetermeer,* en los países Bajos, fue facilitado al INEN dentro del programa de asistencia técnica.

La organización *Betonvereninging* es un consorcio de varias entidades técnicas de los Países Bajos dedicadas al estudio de diferentes aspectos de fabricación, aprovechamiento, control de calidad, especificaciones técnicas, investigación y formación del hormigón armado.

Junto a unas 10 suborganizaciones, la *Betonvereninging* tiene relaciones con otras organizaciones destinadas a tareas de investigación del hormigón en Europa y Estados Unidos.

Como el Código Ecuatoriano de la Construcción, Parte 2, Requisitos de Diseño del Hormigón Armado, tiene como base el ACI-318-71, el presente documento, consecuentemente, ha sido adaptado a los requisitos específicos de la situación ecuatoriana.

GRUPO DE TRABAJO DEL INEN

Ing. Arq. Sjoerd Nienhuys — *Asesor División de Construcción Asistencia Técnica de los Países Bajos*

Arq. Carlos Maldonado P. — *Jefe División de Construcción*

Ing. Carlos Naranjo — *Técnico Normalizador*

Ing. Hernán Prócel — *Técnico Normalizador*

Sr. Carlos León — *Coordinador Administrativo y Correcciones*